

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
MESTRADO EM GEOGRAFIA

LINHA DE PESQUISA: PAISAGEM E ANÁLISE AMBIENTAL

ANDREIA QUINTÃO SOARES DE ASSIS

ANÁLISE DA DINÂMICA FLUVIAL DO RIO CACHOEIRA
(ANTONINA/PR), ENTRE OS ANOS DE 1954 E 2005

CURITIBA
2011

ANDREIA QUINTÃO SOARES DE ASSIS

**ANÁLISE DA DINÂMICA FLUVIAL DO RIO CACHOEIRA
(ANTONINA/PR), ENTRE OS ANOS DE 1954 E 2005**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Curso de Mestrado e Doutorado, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia, Linha de Pesquisa Paisagem e Análise Ambiental.

Orientação: Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos

**CURITIBA
2011**

**MEC-UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
– MESTRADO E DOUTORADO**



PARECER

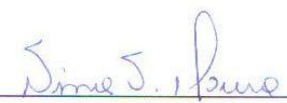
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Geografia reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **ANDRÉIA QUINTÃO SOARES DE ASSIS**, intitulada: **“ANÁLISE DA DINÂMICA FLUVIAL DO RIO CACHOEIRA (ANTONIA-PR) ENTRE OS ANOS DE 1954 E 2005”**, para obtenção do grau de **Mestre** em Geografia, do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná Área de Concentração **Espaço, Sociedade e Ambiente**, Linha de Pesquisa **Paisagem e Análise Ambiental**.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido a candidata, são de parecer pela **APROVAÇÃO** da Dissertação.

Curitiba, 01 de julho de 2011

Nome e assinatura da Banca Examinadora:


Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos (Orientador)


Profª. Drª. Nina Simone Vilaverde Moura -UFRGS


Prof. Dr. Eduardo Vedor de Paula - UFPR

*Dedico esta dissertação ao meu esposo, Alaim, por todo
incentivo, força, carinho e companheirismo;
Ao meu filho, Miguel, que chegou no meio deste trabalho,
mas que só me deu mais força para continuar.*

“O essencial é invisível aos olhos”

Antoine de Saint-Exupéry (O Pequeno Príncipe)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus pela força e por me mostrar que o sonho dEle pra mim é muito maior que o meu sonho.

Ao professor Leonardo José Cordeiro Santos, que desde o primeiro contato no SINAGEO de BH se dispôs a me ajudar. Obrigada pela orientação, amizade e paciência, muita paciência. Obrigada pela confiança que depositou em mim.

Ao Eduardo Vedor de Paula, que me apresentou o Programa CAD (Contaminantes, Assoreamento e Dragagens do Estuário de Paranaguá/PR), me mostrou as possibilidades de pesquisa e que me fez ver minha área de estudo com outros olhos. Obrigada pela amizade e pela confiança.

Ao meu marido, Alaim, que me incentivou desde o início do mestrado, me dando idéias e sugestões. Obrigada pela força e companheirismo.

A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – pela concessão da bolsa, que permitiu a minha dedicação em tempo integral à pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPR e ao seu secretário Luiz Carlos Zem;

À grande amiga Maristela Moresco que me fez me sentir mais em casa na UFPR. Obrigada pela amizade, pelas conversas e pela troca de conhecimento.

Às amigas Carolina Mesquita e Juliana Uber, pela amizade e por terem me auxiliado na realização de parte desta pesquisa. Obrigada por disporem parte do tempo de vocês para me ajudarem.

Ao colega de mestrado Júlio Manoel França, que me auxiliou na etapa final deste trabalho.

Aos integrantes do Programa CAD e colegas do LABS-UFPR (Laboratório de Biogeografia e Solos): Ana Paula Mikosik, Alexei Nowatzki, Carolina Mesquita, Juliana Uber e Eduardo Vedor de Paula.

Aos colegas do Mestrado pelo agradável convívio durante o curso.

À amiga Daniela Viegas, que mesmo estando em Porto Alegre, contribuiu para o desenvolvimento de parte da pesquisa, me auxiliando nas dúvidas relacionadas ao ArcGis.

À minha mãe e minha sogra, que nesta etapa final de pesquisa me ajudaram cuidando do meu filho, para que assim eu pudesse trabalhar na dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELA	v
LISTA DE GRÁFICOS	v
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	v
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
2.1. Geomorfologia Fluvial.....	6
2.2. Sistema Fluvial.....	7
2.3. Dinâmica Fluvial: Erosão, Transporte e Deposição	8
2.4. Padrões de Canais	10
2.5. Feições Fluviais de Canais Meandrantess.....	12
2.6. Mudanças de Canais	14
3. MÉTODOS E TÉCNICAS	16
3.1. Aquisição de Material Bibliográfico e Cartográfico	16
3.2. Aquisição de Produtos Orbitais, Fotografias Aéreas e Aplicações de Técnicas de Geoprocessamento	18
3.2.1. Elaboração do Mosaico de Fotografias Aéreas de 1954.....	18
3.2.2. Elaboração do Mosaico de Fotografias Aéreas de 1980	21
3.2.3. Elaboração do Mosaico de Ortofotos de 1996.....	22
3.2.4. Elaboração do Mosaico de Imagens SPOT-5 de 2005.....	23
3.3. Trabalho de Campo.....	25
3.4. Segmentação do rio Cachoeira	26
3.5. Feições Fluviais do rio Cachoeira	27
3.6. Mapeamento do rio Cachoeira e suas feições fluviais	27
3.7. Variáveis Morfométricas e Morfológicas do rio Cachoeira	28

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
4.1. A Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira – Antonina/PR.	29
4.1.1. Clima	29
4.1.2. Geologia	31
4.1.3. Geomorfologia	33
4.1.3.1. <i>Dados Morfométricos</i>	33
4.1.3.2. <i>Formas de Relevo</i>	36
4.1.4. Pedologia	41
4.1.5. Cobertura e Uso da Terra	43
4.2. Análise Morfométrica e Morfológica do Rio Cachoeira	46
4.2.1. Segmento Planície.....	46
4.2.2. Segmento Serra.....	62
4.2.3. Segmento Planície x Segmento Serra.....	71
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Cachoeira	4
Figura 2: Representação das zonas e variações das propriedades dos canais na bacia de drenagem	9
Figura 3: Comparação entre classificações de canais fluviais	11
Figura 4: Articulação das cartas topográficas da área de estudo	17
Figura 5: Mosaico fotográfico de 1954 do rio Cachoeira e seu entorno	20
Figura 6: Mosaico fotográfico de 1980 do rio Cachoeira e seu entorno	22
Figura 7: Mosaico fotográfico de 1996 do rio Cachoeira e seu entorno	23
Figura 8: Mosaico de 2005 do rio Cachoeira e seu entorno	24
Figura 9: Roteiro percorrido em campo na bacia hidrográfica do rio Cachoeira.....	25
Figura 10: Segmentação do rio Cachoeira	26
Figura 11: Precipitação Pluviométrica média anual na bacia hidrográfica do rio Cachoeira (1975-2005).....	31
Figura 12: Mapa Geológico da bacia hidrográfica do rio Cachoeira	32
Figura 13: Representação do MDT da bacia hidrográfica do rio Cachoeira	34
Figura 14: Mapa Clinográfico da bacia hidrográfica do rio Cachoeira	35
Figura 15: Distribuição das classes de declividade na bacia hidrográfica do rio Cachoeira	35
Figura 16: Mapa Geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Cachoeira	37
Figura 17: Serra do Mar vista ao fundo, na bacia hidrográfica do rio Cachoeira.....	39
Figura 18: Colina vista ao fundo, na bacia hidrográfica do rio Cachoeira.....	39
Figura 19: Planície Aluvial do rio Cachoeira.....	40
Figura 20: Mapa Pedológico da bacia hidrográfica do rio Cachoeira	41
Figura 21: Mapa de Cobertura e Uso da Terra da bacia hidrográfica do rio Cachoeira	45
Figura 22: Plantação de chuchu localizada no segmento planície do rio Cachoeira.....	47
Figura 23: Mapa comparativo do segmento planície	49
Figura 24: Gráficos de valores de extensão, índice de sinuosidade e área do corpo d'água do segmento planície.....	50
Figura 25: Mapas comparativos de extensão, índice de sinuosidade e área do corpo d'água do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005	51

Figura 26: Gráficos de valores de número e área de meandros abandonados do segmento planície	52
Figura 27: Mapas comparativos de meandros abandonados do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005	53
Figura 28: Meandro abandonado localizado no segmento planície.....	54
Figura 29: Representação dos meandros abandonados do ano de 2005	54
Figura 30: Gráficos de valores de número e área de barras de pontal do segmento planície	55
Figura 31: Representação de barras de pontal do ano de 2005	55
Figura 32: Mapas comparativos de barras de pontal do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005	56
Figura 33: Gráficos de valores de número e área de ilhas fluviais do segmento planície.....	57
Figura 34: Mapas comparativos de ilhas fluviais do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005	57
Figura 35: Representação de ilha fluvial do ano de 2005 do segmento planície.....	58
Figura 36: Gráficos de valores de largura mínima, máxima e média do segmento planície	59
Figura 37: Mapas comparativos de largura mínima do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.....	60
Figura 38: Mapas comparativos de largura máxima do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005	61
Figura 39: Mapa comparativo do segmento serra	63
Figura 40: Gráficos de valores de extensão, índice de sinuosidade e área do corpo d'água do segmento serra	64
Figura 41: Mapas comparativos de extensão, índice de sinuosidade e área do corpo d'água do segmento serra, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005	65
Figura 42: Gráficos de valores de número e área em ilhas do segmento serra.....	66
Figura 43: Mapas comparativos de ilhas fluviais do segmento serra, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005	66
Figura 44: Representação de ilha fluvial do ano de 2005 do segmento serra	67
Figura 45: Gráficos de valores de largura mínima, máxima e média do segmento serra	68

Figura 46: Mapas comparativos de largura mínima do segmento serra, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005	69
--	----

Figura 47: Mapas comparativos de largura mínima do segmento serra, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005	70
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Material cartográfico utilizado na pesquisa	16
Tabela 2: Descrição dos levantamentos aerofotogramétricos adquiridos para a região da bacia hidrográfica do rio Cachoeira	18
Tabela 3: Relação das fotografias aéreas da bacia do rio Cachoeira (1954)	18
Tabela 4: Relação das fotografias aéreas da bacia do rio Cachoeira (1980).....	21
Tabela 5: Unidades Geológicas da bacia hidrográfica do rio Cachoeira	33
Tabela 6: Formas de relevo bacia hidrográfica do rio Cachoeira	36
Tabela 7: Distribuição das Classes de Solos na bacia hidrográfica do rio Cachoeira.....	42
Tabela 8: Classes de Cobertura e Uso da Terra da bacia hidrográfica do rio Cachoeira	44
Tabela 9: Valores quantitativos morfométricos e morfológicos do segmento planície do rio Cachoeira.....	48
Tabela 10: Valores quantitativos morfométricos e morfológicos do segmento serra do rio Cachoeira.....	62
Tabela 10: Variações (aumento ou redução) nos segmentos do rio Cachoeira entre 1954 e 2005.....	71

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADEMADAN – Associação de Defesa do Meio Ambiente e Desenvolvimento de Antonina/PR.

AEIT - Área de Especial Interesse Turístico

APA – Área de Proteção Ambiental.

APP – Área de Preservação Permanente.

CAD – Contaminantes, Assoreamento e Dragagem no Estuário de Paranaguá.

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

COPEL – Companhia Paranaense de Energia Elétrica.

DSG – Diretoria de Serviço Geográfico [do Exército Brasileiro].

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

FPA - Frente Polar Atlântica.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social.

GPS – Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System*)

ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geociências.

LABS – Laboratório de Biogeografia e Solos (Depto. de Geografia – UFPR).

LHG – Laboratório de Hidrogeomorfologia (Depto. de Geografia – UFPR).

MDT – Modelo Digital do Terreno

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A

MPA - Massa Polar Atlântica.

MTA - Massa Tropical Atlântica.

RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural

SEMA/PR – Secretaria de Estado [do Paraná] do Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

UHGPS – Usina Hidroelétrica Governador Parigot de Souza

UFPR – Universidade Federal do Paraná.

RESUMO

A área de abrangência deste trabalho está inserida na bacia hidrográfica do rio Cachoeira, localizada no município de Antonina (PR). Segundo Paula (2010), quando se analisa a produção de sedimentos anual total por unidade hidrográfica da área de drenagem do Complexo Estuarino de Paranaguá, verifica-se que a bacia hidrográfica do rio Cachoeira denota maior contribuição ao processo de assoreamento da baía de Antonina. O objetivo da pesquisa foi analisar a dinâmica fluvial do rio Cachoeira, a partir de dados morfométricos e morfológicos, considerando os anos de 1954, 1980, 1996 e 2005. Utilizou-se materiais cartográficos como cartas topográficas, fotografias aéreas dos anos de 1954, 1980 e 1996 e imagens de satélite SPOT 5 do ano de 2005. Também foi utilizado o banco de dados do Programa CAD (Contaminantes, Assoreamento e Dragagens no estuário de Paranaguá/PR). Foi realizada a elaboração de mosaicos a partir das fotografias aéreas e imagens de satélite dos quatro anos trabalhados. O rio Cachoeira foi segmentado em duas partes, para que as informações obtidas pudessem ser comparadas. Três feições fluviais (meandro abandonado, barra de pontal e ilha fluvial) foram escolhidas para serem analisadas nos dois segmentos. Posteriormente foram definidas 10 variáveis morfométricas e morfológicas para obtenção de valores quantitativos, lineares e de área. A bacia hidrográfica do rio Cachoeira foi caracterizada para servir de apoio a interpretação dos dados futuros. O resultado da análise morfométrica e morfológica dos segmentos do rio Cachoeira mostrou que o segmento planície teve alterações mais significativas ao longo dos anos estudados do que o segmento serra. Constatou-se que o intervalo que vai de 1996 a 2005 foi o que mais sofreu alterações, considerando os dois segmentos do rio Cachoeira. As especificidades morfométricas, a dinâmica da cobertura e uso da terra e a presença da Usina Hidrelétrica Parigot de Souza são exemplos de fatores que explicam as mudanças ocorridas nos dois segmentos.

ABSTRACT

The area covered by this study is part of the Cachoeira River basin, located in the city of Antonina (PR). According to Paula (2010), when analyzing the total annual sediment yield per unit area of drainage basin of Paranaguá Estuarino Complex, it appears that the basin of Cachoeira river shows a greater contribution to the process of silting of the Antonina Bay. The research objective was to analyze the dynamics of fluvial Cachoeira river, from morphological and morphometric data, considering the years 1954, 1980, 1996 and 2005. It was used materials such as topographic mapping, aerial photographs of the years 1954, 1980 and 1996 and SPOT 5 satellite imagery of 2005. It was used the database program CAD (Contaminants, Siltation and dredging in the estuary of Paranaguá / PR). It was performed the preparation of mosaics from aerial photographs and satellite images of the four years worked. The Cachoeira river was divided into two parts so that the information obtained could be compared. Three fluvial features (abandoned meander, spit bar and river island) were chosen to be analyzed in two segments. Later, they were defined 10 morphological and morphometric variables for obtaining values of quantitative, linear and area. The Cachoeira River basin was characterized to be a support in the future data interpretation. The result of the morphological and morphometric analysis of the segments of the Cachoeira river showed that the plain segment had more significant changes over the years studied than the segment saw. It was found that the period from 1996 up to 2005 has suffered the most changes, considering the two segments of Cachoeira river. The morphometric characteristics, the dynamics of land cover and land use and the presence of Hydroelectric Parigot de Souza are examples of factors that explain the changes in the two segments.

1. INTRODUÇÃO

Os canais fluviais são, freqüentemente, objetos de estudo em pesquisas na área das geociências sob diferentes perspectivas ou enfoques, pois de acordo com Christofolletti (1969), os estudos que envolvem a análise da rede hidrográfica podem levar à compreensão e à elucidação de numerosas questões geomorfológicas, já que os cursos d'água constituem processos morfogenéticos dos mais ativos na esculturação do relevo, podendo refletir o clima e a geologia local, servindo, portanto, como parâmetros para o diagnóstico do meio físico. Os canais fluviais podem ser aproveitados como hidrovias, fontes de água para abastecimento público, geração de energia hidroelétrica, mananciais para captação de água para irrigação e vários outros usos. Os ambientes fluviais também apresentam destacada importância para as atividades humanas, como o aproveitamento das áreas férteis e cultiváveis das planícies de inundação.

Os estudos dos cursos e ambientes fluviais, bem como das unidades espaciais hidrológicas, como as bacias hidrográficas, apresentam grande importância na geografia, particularmente para o planejamento do uso e ocupação do solo.

Segundo Church (1992), vários fatores conduzem os processos físicos em canais fluviais e, conseqüentemente, em sua morfologia. Este autor destaca como fatores principais: o volume e o tempo de escoamento do fluxo; as características do sedimento transportado; e a história geológica da paisagem fluvial. E como fatores secundários: o clima local; o tipo de vegetação ripária; e o uso do solo da bacia de drenagem. Também considera um fator adicional, não menos importante: a modificação direta da morfologia do canal por causas antrópicas, que podem impactar e gerar desequilíbrios ao sistema natural.

Assim, por meio do trabalho fluvial, os rios são condutores de energia e de matéria sólida e líquida dos sistemas ambientais físicos, ou seja, carregam para fora da bacia hidrográfica os materiais detríticos produzidos em seu interior, além do excedente de água.

Não obstante, o transporte de sedimentos não ocorre diretamente das cabeceiras dos rios para os oceanos, sendo parte deles estocados ao longo da trajetória de escoamento dos rios, dando origem às planícies fluviais. As relações entre a dinâmica das correntes fluviais e os tipos e quantidades de carga detrítica

determinam os regimes de transporte de sedimentos e estabelecem uma grande variedade de formas de canal fluvial. Muitas vezes, algumas dessas formas de canal apresentam-se como padrões intermediários das classes tradicionalmente conhecidas dos canais retilíneos, meandantes e entrelaçados, estabelecendo um '*continuum*' entre eles (LEOPOLD & WOLMAN, 1970).

De acordo com Cunha (2007), na natureza, os rios estão em equilíbrio com seus fluxos, havendo um balanço entre a descarga líquida, o transporte de sedimentos, a erosão e deposição, de tal modo que o rio mantém a proporcionalidade do tamanho de sua calha, da nascente à foz. Mas este equilíbrio longitudinal pode sofrer alteração, por um processo natural ou como resultado da atividade humana.

De acordo com Carvalho (2008), os processos responsáveis por assoreamentos são muito complexos, abrangendo principalmente erosão e movimentos de massa, transporte dos sedimentos nos cursos d'água e sua deposição na calha dos rios, lagos, reservatórios e estuários. Todos esses processos que envolvem o sedimento são naturais que sempre ocorreram através dos tempos geológicos, sendo responsáveis pela forma atual da superfície da Terra.

Mas além dos eventos naturais, as atividades antrópicas podem alterar o estado de relativa estabilidade da paisagem em diferentes escalas, mudando a vazão de cursos d'água e/ou ampliando a quantidade de sedimentos a serem transportados, por exemplo. Nestas condições o processo de assoreamento pode ser consideravelmente acelerado, tal como vem ocorrendo na baía de Antonina (PAULA, 2010).

Dada a relevância dos problemas decorrentes do assoreamento das baías de Antonina e de Paranaguá, litoral paranaense, teve início em 2005 o Programa CAD (Contaminantes, Assoreamento e Dragagens no estuário de Paranaguá/PR), cuja descrição detalhada pode ser encontrada em Boldrini & Paula (2008).

É importante ressaltar que a presente pesquisa tem o Programa CAD como propulsor ao seu desenvolvimento. Este programa em suas distintas fases vem possibilitando uma excelente caracterização da área de drenagem das baías de Antonina e de Paranaguá, a partir de pesquisas bibliográficas de trabalhos anteriormente desenvolvidos nesta área e, sobretudo, a partir da organização de um Banco de Dados Geográfico disponível, em nível de detalhe, como para poucas

regiões no território nacional. O mencionado banco de dados encontra-se descrito em Paula & Cunico (2007).

Na atualidade o Programa CAD recebe aporte financeiro do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), por meio do projeto intitulado “Delimitação das Áreas Prioritárias à Recuperação Ambiental na Área de Drenagem da Baía de Antonina: do monitoramento dos processos erosivos às ações comunitárias (2009 – 2011)”, registrado sob o Processo 577382/2008-0. Este projeto está sendo desenvolvido pelo LABS (Laboratório de Biogeografia e Solos) e pelo LHG (Laboratório de Hidrogeomorfologia), ambos vinculados ao Departamento de Geografia da UFPR (Universidade Federal do Paraná), bem como pela ADEMADAN (Associação de Defesa do Meio Ambiente e Desenvolvimento de Antonina).

Segundo Paula (2010), acredita-se que o processo de assoreamento da baía de Antonina deva ser estudado a partir da identificação dos processos naturais e intervenções antrópicas, que tem potencial ou que de fato contribuam para a disponibilização de sedimentos à expressiva rede de drenagem, a qual carrega água e sedimentos à mencionada baía. Para tanto, o diagnóstico das diversas bacias hidrográficas formadoras da área de drenagem da referida baía, dentre elas a do rio Cachoeira, demonstra-se como sendo primordial.

Um aspecto a ser considerado refere-se a presença do canal fuga da Usina Hidrelétrica Governador Pedro V. Parigot de Souza (inaugurada em 1971), operada pela COPEL (Companhia Paranaense de Energia Elétrica) na bacia hidrográfica do rio Cachoeira. O aproveitamento hidroelétrico consistiu no represamento das águas do Rio Capivari, pertencente à bacia hidrográfica do rio Capivari no Primeiro Planalto Paranaense (MAACK, 1960), a 830 metros acima do nível do mar, e seu desvio para o rio Cachoeira, no litoral paranaense, através de um canal de adução (com mais de 15 km de comprimento), atravessando o maciço rochoso da Serra do Mar, obtendo-se um desnível de 740 metros (MANTOVANELLI, 1999).

Segundo Paula (2010), quando se analisa a produção de sedimentos anual total por unidade hidrográfica da área de drenagem do Complexo Estuarino de Paranaguá, verifica-se que a bacia hidrográfica do rio Cachoeira denota maior contribuição ao processo de assoreamento da baía de Antonina, por disponibilizar cerca de 6.092 toneladas de sedimento por ano.

Portanto, a presente pesquisa servirá de subsídio para compreensão da dinâmica fluvial do rio Cachoeira e como essa dinâmica podem interferir no processo de assoreamento da baía de Antonina, já que o rio Cachoeira é um dos maiores contribuintes de sedimentos na referente baía (Figura 1).

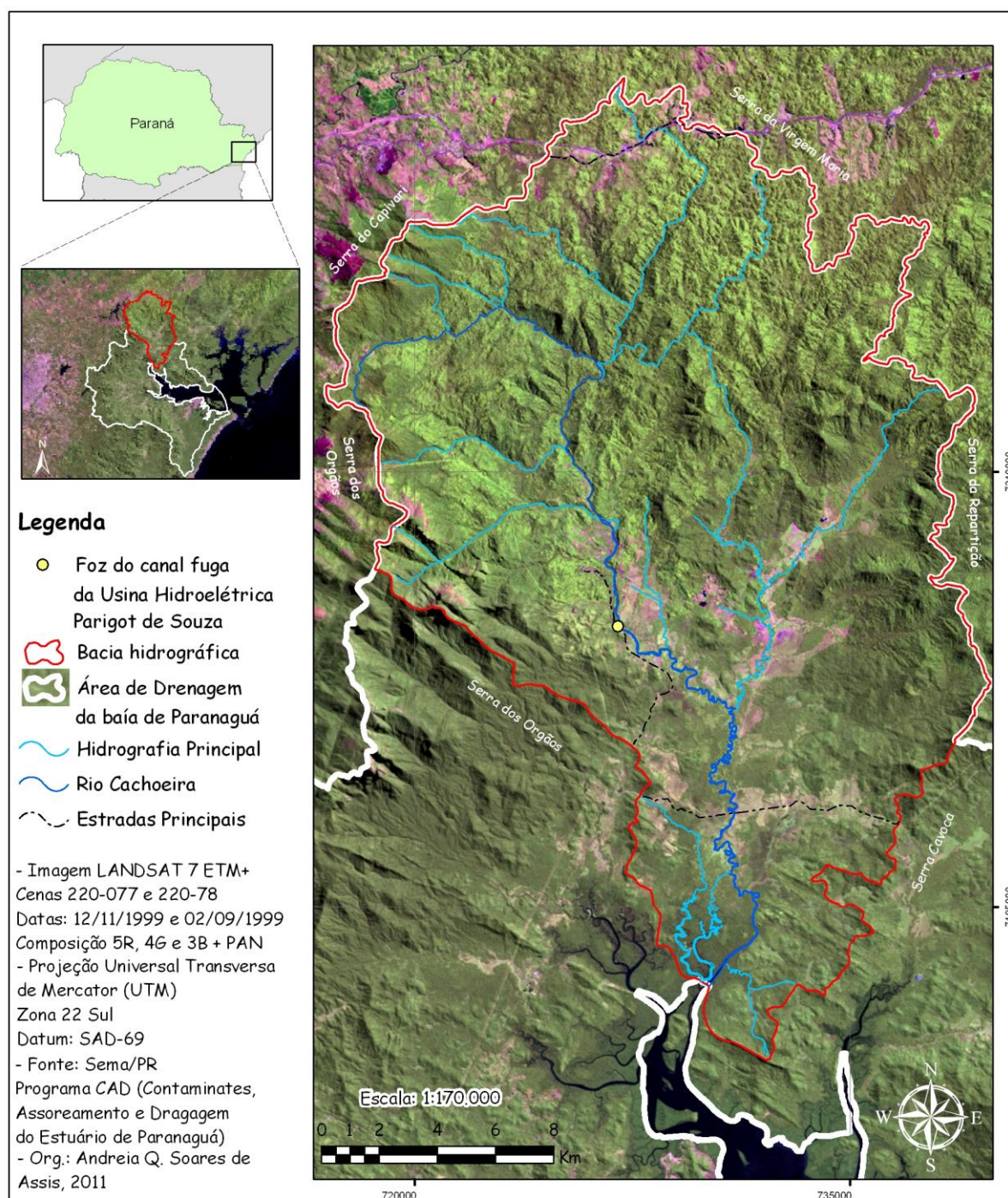


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Cachoeira

Neste contexto, o objetivo geral deste trabalho é analisar a dinâmica fluvial do rio Cachoeira, a partir de dados morfométricos e morfológicos, considerando os anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.

De maneira específica, objetiva-se:

- Realizar uma caracterização geomorfológica, geológica, pedológica, climática e de cobertura e uso da terra da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, para a compreensão da dinâmica de seu rio principal, a partir do banco de dados do Programa CAD;
- Elaborar mosaicos do rio Cachoeira a partir das fotografias aéreas dos anos de 1954 e 1980, de ortofotos de 1996 e de imagens de satélite de 2005;
- Delimitar o canal principal do rio Cachoeira em 1954, 1980, 1996 e 2005;
- Quantificar e avaliar as alterações existentes na morfologia do canal e os tipos de depósitos fluviais encontrados no período entre as diferentes datas mencionadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Geomorfologia Fluvial

A Geomorfologia Fluvial, segundo estudo realizado por Salgado *et. al.* (2008) constitui a especialidade da geomorfologia que mais publicou no Brasil entre os períodos de 2001 e 2005, sendo que, em nível internacional, é a única em que a produção brasileira merece destaque, possuindo também centros de excelência nacional.

A Geomorfologia Fluvial interessa-se pelo estudo dos processos e das formas relacionadas com o escoamento dos rios (Christofolletti, 1980), ou seja, é o campo da geomorfologia que se dedica a estabelecer relações entre os processos de erosão e deposição resultantes da água escoada em canais fluviais e as formas de relevo derivadas (FLORENZANO, 2008).

Ao longo da história, rios e canais mudam de fisionomia, e o estudo dessas mudanças é domínio da Geomorfologia Fluvial. Tradicionalmente, a visão geográfica envolve o método baseado na observação de campo, no reconhecimento das relações entre os processos atuantes nos rios e canais e as formas resultantes, e nas relações entre os tipos de mudanças e as variáveis ambientais locais. Nesse sentido, os rios devem ser examinados sob a ótica da bacia de drenagem, uma vez que refletem a forma de uso do solo e sua dinâmica, além de considerar as dimensões temporal e espacial. A primeira dimensão pode englobar as escalas de curta e longa duração (escala geológica), e a dimensão espacial permite analisar os rios em setores (CUNHA, 2005).

A geomorfologia fluvial contemporânea contribui com os estudos de ordenamento territorial no sentido de considerar não apenas os processos fluviais que operam no interior de um canal fluvial ou bacia de drenagem, mas valorizando outros importantes elementos e processos socioeconômicos, as tomadas de decisões na análise de impactos de grandes obras, conflitos de usos e no desenvolvimento de diretrizes para um melhor uso/conservação dos recursos hídricos, proporcionando uma visão mais completa e coerente do sistema analisado (COELHO, 2007).

Os canais fluviais vêm sendo objetos de estudo sob diferentes abordagens e perspectivas. Isso se explica pela diversidade de usos proporcionados por eles, pois os cursos d'água podem ser considerados responsáveis pela esculturação do relevo,

podendo refletir o clima e a geologia local, servindo assim como parâmetros para diagnóstico do meio físico.

Geomorfologicamente o termo rio é aplicado exclusivamente para designar uma “corrente canalizada” ou confinada. Geologicamente a palavra rio é empregada para referir o tronco principal de um sistema de drenagem (SUGUIO & BIGARELLA, 1979).

Segundo Christofolletti (1980), os rios constituem os agentes mais importantes no transporte dos materiais intemperizados das áreas mais elevadas para as mais baixas e dos continentes para o mar. Sua importância é capital entre todos os processos morfogenéticos.

Os rios são considerados cursos naturais de água doce escoando por canais definidos, com fluxos permanentes ou sazonal, que correm para outro curso fluvial, lago, mar ou oceano, sendo alimentado por precipitação pluviométrica, por escoamento superficial ou subsuperficial e pela convergência com seus tributários ao longo de seu curso (MORISAWA, 1968).

2.2. Sistema Fluvial

Em um rio, a velocidade das águas depende de fatores importantes como a declividade do perfil longitudinal, o volume das águas, a forma da seção transversal, o coeficiente de rugosidade do leito e viscosidade da água, fazendo com que a velocidade das águas tenha variações nos diversos setores do canal no qual ela flui. Nesse sentido, qualquer obstáculo influencia na eficiência do fluxo das águas, por exemplo, quanto mais lisa for a calha, maior será a eficiência do fluxo. Assim, o comportamento da velocidade das águas e seu fluxo (turbulento ou laminar) relacionam-se com a corrente fluvial (ou trabalho) que o rio executa, possibilitando o transporte da carga sedimentar nas suas mais variadas formas (suspensão, saltação e rolamento), de acordo com a granulação das partículas (tamanho e forma) e das características da própria corrente, elaborando uma forma de relevo fluvial em função destas variáveis (SUGUIO e BIGARELLA, 1979; CHRISTOFOLETTI, 1981).

Knighton (1998) define os rios e canais de um sistema fluvial, como “corpos de água fluindo em um sistema aberto”. Estes têm basicamente três importantes funções na constituição das paisagens terrestres, ou seja, erodem o canal onde fluem, transportam sedimentos provenientes de intemperismos e de processos que

ocorrem nas vertentes, bem como de outros agentes denudacionais e promovem sedimentação dos materiais transportados.

O primeiro efeito que a água produz sobre a superfície é o de erosão, esta, pode se processar de forma direta e/ou indireta. Os mecanismos de erosão atuam geralmente de forma combinada, produzindo material, o qual a água transporta na forma de sedimentos. Os principais componentes hidrológicos de um sistema fluvial são representados por um sistema de entradas, saídas, armazenamento e transferências de matéria e energia.

De acordo com Iriondo (1986), um sistema fluvial está caracterizado por apresentar uma estrutura interna definida pelas suas variáveis de estado, tais como a geologia (litologia, condicionamento estrutural) o clima (pluviosidade, temperaturas médias) e a vegetação. Estas variáveis de estado se relacionam e se modificam por processos climáticos e geológicos, tais como erosão, transporte, sedimentação, intemperismo, pedogênese e oscilação de nível freático.

2.3. Dinâmica Fluvial: Erosão, Transporte e Deposição

De forma simplificada, uma bacia de drenagem pode ser dividida em três zonas ou setores, sendo estes de produção, transporte e deposição de sedimentos. A intensidade de atuação dos processos de erosão, transporte e deposição estão associadas a fatores de natureza interna e externa do sistema. Alterações em algum destes fatores são responsáveis por importantes mudanças no sistema fluvial que refletem na característica do material (volume e granulometria), geometria do canal e propriedades hidráulicas, por exemplo.

Segundo Schumm (1977), o tamanho dos canais aumenta sistematicamente à medida que o sistema fluvial aumenta a área de drenagem de seus contribuintes, aumentando o fluxo para o canal principal. A escala morfológica de mudança de canais pode ser observada na Figura 2.

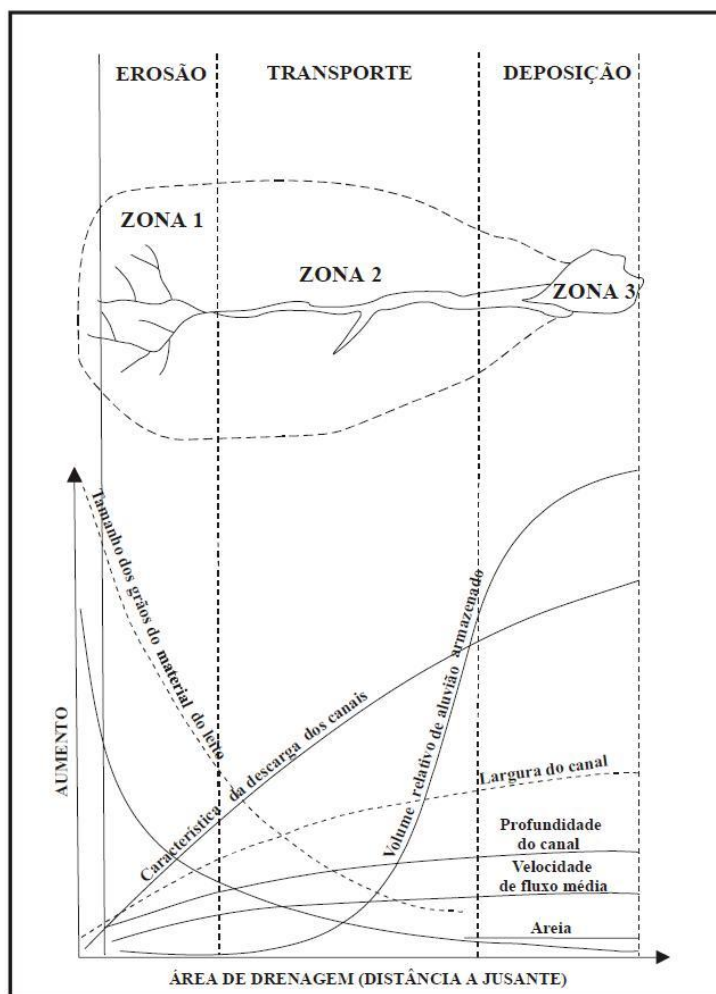


Figura 2 – Representação das zonas e variações das propriedades dos canais na bacia de drenagem. Fonte: CHURCH apud MORAIS (2002)

Segundo Bigarella *et al.* (2007), a erosão, o transporte e a deposição são processos que não podem ser separados. Eles são interdependentes dentro de relações constantemente mutáveis do fluxo e da carga existente. Não se pode considerá-los separadamente.

De acordo Christofolletti (1980), na ótica de um sistema, a capacidade de erosão das margens de um rio, bem como o transporte e deposição de sedimentos dependem, entre outros fatores, da vazão e da natureza das correntes fluviais, refletindo em uma condição estável (equilibrada) do canal fluvial. Qualquer modificação rompe com esta estabilidade, repercutindo de imediato nas condições de erosão, transporte e deposição, até chegar a uma nova condição de equilíbrio.

Se a energia disponível para o transporte de carga sólida for suficiente, o canal mantém-se em condições estáveis. Se existir um excesso de energia, esta é usada para erodir os lados e o fundo do canal contribuindo para um aumento da

carga para jusante. Se a energia for menor que aquela capaz de transportar toda a carga, parte dela é depositada (SUGUIO & BIGARELLA, 1979).

Church (1996) destacou três fatores que controlam os processos físicos nos rios, e que segundo ele, refletem na morfologia dos canais fluviais. São eles: volume e tempo de distribuição da água provida de montante da bacia; volume/característica do sedimento fornecido para o canal; e o contexto geológico local da paisagem fluvial.

A quantidade e o tempo relativo do transporte de sedimentos em um rio reflete a combinação de processos atuantes nas vertentes da bacia de drenagem e nos processos intra-calha. O aporte e o controle da disponibilidade de sedimentos na carga de um rio podem ser avaliados pelo fornecimento de materiais da bacia de drenagem, por ação da chuva, pelo escoamento superficial, por afluentes, ravinamentos, e uma variedade de movimentos de massa. Os processos intra-calha controlam o equilíbrio entre deposição e transporte, podendo ser provido de sedimentos adicionais por erosão no próprio canal (PETTS & FOSTER, 1985).

Segundo Christofolletti (1980), a deposição detrítica carregada pelos rios ocorre quando há a diminuição da competência ou da capacidade fluvial. Essa diminuição pode ser causada pela redução da declividade, pela redução do volume ou pelo aumento do calibre de carga detrítica. Entre as várias formas originadas pela sedimentação fluvial destacam-se as planícies de inundação e os deltas, mas também podem ser-lhe imputados os cones de dejeção, as restingas fluviais e outras.

2.4. Padrões de Canais

Os canais fluviais apresentam uma grande variedade morfológica. Há muito se tem discutido sobre os tipos dos canais, mas ainda não se conseguiu, de maneira consistente, ir além das três categorias difundidas por Luna Leopold e Gordon Wolman na década de 1960 (LEOPOLD & WOLMAN, 1970), como discutiu Zancopé (2004). Essa classificação reúne os tipos básicos de canais fluviais: os retilíneos, os entrelaçados e os meandrantos (Figura 3). Todos eles constituem organizações espaciais que os canais fluviais apresentam pela disposição de um padrão observado na dimensão plana na superfície terrestre. Esses tipos básicos integram os denominados padrões de canais fluviais, e especialmente se aplicam aos rios

aluviais, os quais o leito e as margens são constituídos de sedimentos transportados e depositados pela ação fluvial.

Porém, como constatou Knighton (1998), esses padrões de canal fluvial representam uma simplificação excessiva das inúmeras formas de canais fluviais possíveis de se encontrar na superfície terrestre. Dificilmente se encontrará em campo um canal com as mesmas características morfológicas definidas num daqueles padrões. A Figura 3 compara os padrões de canal fluvial e as possibilidades de variações morfológicas encontradas, ordenadas segundo a classificação realizada por Kellerhals *et al.* (1976), como mostrado por Cunha (2007).

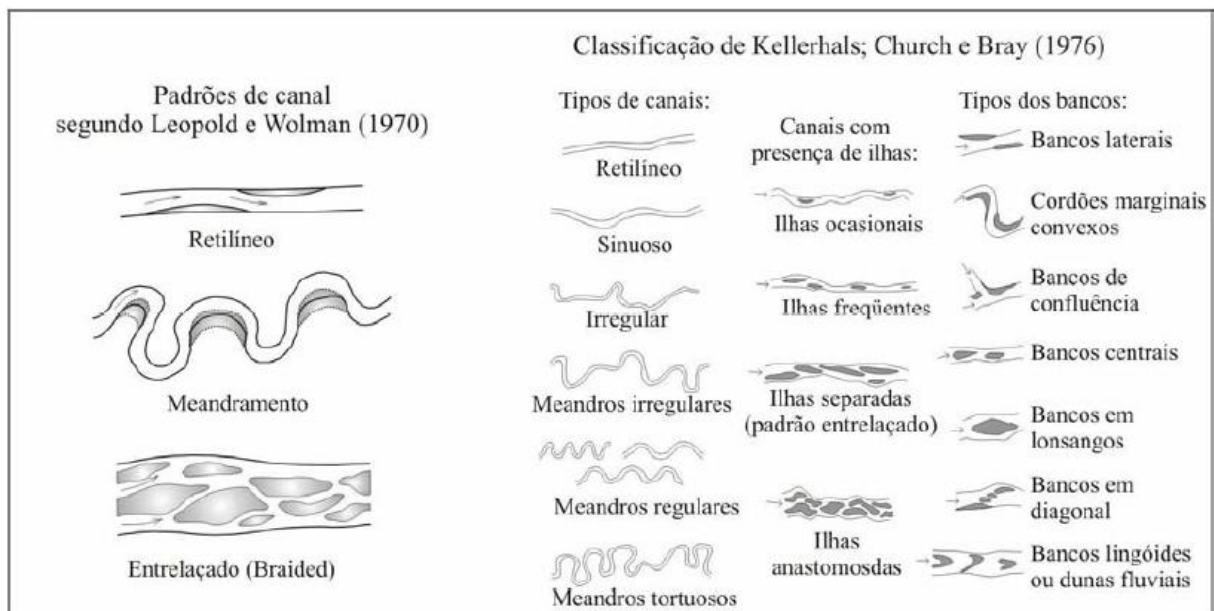


Figura 3 - Comparação entre classificações de canais fluviais, segundo Cunha (2007).

Embora se verifique uma continuidade entre os padrões de canal, explicando a variedade morfológica dentro de um mesmo padrão e a similaridade nos princípios físicos e nos processos que organizam os padrões (CHRISTOFOLETTI, 1981), as mudanças de um padrão a outro não ocorrem linearmente, mas quando se atingem valores limiares. Em estudo experimental sobre rios aluviais, Schumm e Khan (1972) demonstraram que canais retos se transformam em canais meandantes quando a declividade ou gradiente atinge determinado valor crítico. Com o contínuo aumento da declividade os canais meandantes, por sua vez, transformam-se em canais entrelaçados, quando se atinge novo valor crítico.

2.5. Feições Fluviais de Canais Meandrant

O tipo de canal fluvial que interessa a esta pesquisa é o canal meandrante, pois é este que se destaca ao longo do curso do rio Cachoeira. Por definição, o padrão de canal meandrante é aquele que exibe um canal único, cujo traçado se afasta da direção normal de escoamento, retornando à mesma após delinear um circuito pronunciadamente harmônico, descrevendo assim curvas altamente sinuosas e semelhantes entre si (LEOPOLD & WOLMAN, 1960).

Ainda, segundo Christofolletti (1980), os meandros constituem o tipo de canal que mais merece atenção dos pesquisadores. Os canais meândricos são aqueles em que os rios promovem um trabalho contínuo de escavação na margem côncava (ponto de maior velocidade da corrente) e de deposição na margem convexa (ponto de menor velocidade da corrente).

De acordo com Zancopé (2008), esta dinâmica de remobilização dos materiais constituintes das margens côncavas e a deposição da carga detrítica nas margens convexas promovem o deslocamento lateral das curvas meândricas, ou seja, a migração da curva ao longo do eixo meândrico, muitas vezes denominada de divagação meândrica. Deve ser destacada a tendência dos meandros migrarem tanto lateralmente quanto longitudinalmente, isto é, de lado a lado ou para jusante ou montante. A migração contínua do canal meandrante reconstrói a planície aluvial gerando uma sucessão faciológica dos depósitos específica, e um conjunto de formas de relevo (meandros abandonados, paleocanais, bacias de decantação ou inundação, cordões marginais convexos, etc.), associados às condições de sedimentação e ao arranjo estrutural do acamamento sedimentar, como demonstrou Christofolletti (1981).

Segundo Christofolletti (1981) as formas fluviais surgem como resposta aos processos deposicionais, as condições de sedimentação e o arranjo estrutural do acamamento sedimentar. Nos ambientes tropicais úmidos predominam, nas áreas mais elevadas, os sedimentos médios a finos e, nas áreas mais rebaixadas e próximas ao canal hídrico, predominam os sedimentos grosseiros, colaborando com o seu meandramento.

As planícies de inundação desenvolvidas em trechos de canais meândricos apresentam topografia altamente diversificada e podem ser consideradas as mais importantes. O canal meândrico, em geral, situa-se em faixa aluvial que, altimetricamente, se encontra a decímetros ou metros acima das baixadas marginais

adjacentes, conhecidas como bacias de inundação. A migração das curvas meândricas faz com que muitos aspectos topográficos relacionados a erosão e sedimentação nos canais integrem a configuração topográfica da planície de inundação, como os cordões marginais convexos e os meandros abandonados. Mas também há formas de relevo desenvolvidas por processos de sedimentação que ocorrem fora do canal, na superfície da planície de inundação, constituindo também elementos característicos de sua composição, como os diques marginais, os depósitos de rompimento de diques marginais e as bacias de inundação (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Riccomini *et al.* (2000) classifica os depósitos fluviais de canais meandrantos conforme a alocação do sedimento na planície fluvial, adotando as seguintes denominações:

- a) *depósitos de canais*, que abrangem os sedimentos mais grossos alocados nas partes mais profundas do leito num sistema fluvial meandrante;
- b) *depósitos de barras de pontal*, formam-se pela erosão dos sedimentos das margens côncavas, os quais são depositados pelo processo de acrescentamento lateral nas margens convexas dos meandros seguintes;
- c) *depósitos de atalho e meandros abandonados*: um meandro pode ser abandonado gradualmente por *atalho em corredeira*, quando o canal passa a ocupar antigos locais de sedimentação e o fluxo fluvial diminui paulatinamente; por *atalho em colo*, quando ocorre abertura de um novo canal entre dois meandros, ou ainda por avulsão de vários meandros concomitantemente. Com a avulsão, forma-se um meandro abandonado, caracterizado pelo predomínio de depósitos pelíticos e formado quando ocorre mudança abrupta no curso do rio e diminuição repentina do afluxo de sedimentos de carga de fundo;
- d) *depósitos de diques marginais*, feições elevadas na planície formadas em períodos de inundação, onde a água extravasa e deposita areias médias a finas próximo às margens do canal, formando corpos alongados nas suas bordas;
- e) *depósitos de rompimento de diques marginais*, formados durante enchentes de grande porte, onde o rompimento dos diques antecede a formação de canais efêmeros e pouco definidos sobre a planície de

inundação. São compostos de areias e argilas misturados com os depósitos do dique marginal e da planície de inundação e recobertas por camadas de argila da planície de inundação sucessora;

- f) *depósitos de planície de inundação*, constituídas como planos aluviais alongados e recobertos nas enchentes, predominando processos de suspensão que geram coberturas de silte e argila laminadas. Estes depósitos formam nas partes mais baixas da planície as bacias de inundação, freqüentemente cobertas por água.

2.6. Mudanças de Canais

As mudanças de canais podem estar relacionadas a uma série de fatores, podendo estes serem de caráter natural ou antrópico, onde podem ter relações com diferentes dimensões temporais. Segundo Knighton (1998) variáveis como geologia, clima, relevo regional, morfologia das vertentes, propriedades do solo e da vegetação, morfologia de canais, descarga de sedimentos entre outras, podem ocasionar importantes mudanças nas condições da dinâmica do canal. Tais variáveis podem assim ser consideradas independentes, dependentes e/ou irrelevantes, segundo a perspectiva da escala temporal do trabalho executado pelos rios.

As mudanças climáticas e antropogénicas são semelhantes nos termos de seus impactos nos sistemas geomorfológicos, por serem relativamente rápidas em comparação com mudanças em outros sistemas ambientais (GRAFF, 1978). Para o autor, os dois tipos de mudanças afetam os sistemas fluviais pela modificação da vegetação e da superfície da terra, o que, conseqüentemente, afeta os regimes hidrológicos, alterando a morfologia e dinâmica do canal.

Mudanças na bacia de drenagem podem alterar o escoamento fluvial e a relação de produção de sedimentos, produzindo efeitos indiretos nas características dos canais. As maiores mudanças que afetam os canais referem-se às modificações advindas das atividades humanas. O maior impacto: o desmatamento acelera a erosão das vertentes e a intensificação dos processos erosivos promove incremento no fornecimento de sedimentos para os canais. As características do escoamento também são afetadas por estas alterações. Os canais tendem a tornar-se mais largos, menos profundos e sinuosos caso uma grande quantidade de sedimentos

permaneçam armazenados no canal ou na planície de inundação (BROOKES, 1996).

Christofoletti (1994) afirma que através da ocupação e da implantação de suas atividades o homem insere-se no ambiente como agente modificador das características visuais, dos fluxos de energia e matéria, modificando o equilíbrio natural dos geossistemas, ou sistemas ambientais físicos. Estas alterações podem resultar em impactos ambientais que, de acordo com Parker (*apud* CHRISTOFOLETTI, 1994), representam “mudança sensível, positiva ou negativa, nas condições de saúde e bem-estar das pessoas e na estabilidade do ecossistema do qual depende a sobrevivência humana. Essas mudanças podem resultar de ações acidentais ou planejadas, provocando alterações direta ou indiretamente”. Ainda segundo Christofoletti (1994) os impactos antropogênicos diretos geralmente são planejados, e os seus efeitos são percebidos logo após as modificações no ambiente serem promovidas. Já as conseqüências indiretas não são planejadas nem imediatamente percebidas, dependendo da vulnerabilidade do sistema ambiental e do possível desencadeamento de efeitos colaterais.

Segundo Park (1977), a intensidade da erosão nas margens de canais fluviais é dinamizada por processos antrópicos, que se constituem em importantes agentes modeladores da paisagem. Estas ações podem ser enfocadas em dois níveis básicos: a) em locais específicos, ou seja, interferindo diretamente no canal de drenagem, podendo assim haver alterações na seção transversal, no perfil longitudinal do rio, no padrão do canal, entre outras modificações; b) em ações numa escala espaço-territorial maior que abrange toda a área de extensão do curso principal e seus tributários no contexto de bacia hidrográfica, como o desmatamento, emprego de práticas agrícolas indevidas, construção de prédios e urbanização.

Segundo Wolman & Leopold (1957) as taxas de acreção lateral podem em alguns casos, ser determinadas pela migração dos meandros, e outras avaliações podem ser feitas através de medidas diretas em campo ou com uso de mapas históricos. A taxa de migração (e assim também as taxas de acreção de materiais à planície de inundação) tem sido associada à capacidade dos rios.

3. MÉTODOS E TÉCNICAS

As atividades de pesquisa desenvolvem-se em sete etapas na perspectiva de explicitação dos objetivos desse estudo. 1ª Etapa: aquisição de material bibliográfico e cartográfico; 2ª Etapa: aquisição de produtos orbitais, fotografias aéreas e aplicações de técnicas de geoprocessamento; 3ª Etapa: trabalho de campo; 4ª Etapa: segmentação do rio Cachoeira; 5ª Etapa: classificação das feições fluviais; 6ª Etapa: mapeamento do rio Cachoeira e suas feições fluviais; 7ª Etapa: análise e quantificação das variáveis morfométricas e morfológicas do rio Cachoeira

3.1. Aquisição de Material Bibliográfico e Cartográfico

Para atender aos objetivos da pesquisa, inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica referente à geomorfologia fluvial, dinâmica do sistema fluvial e mudanças naturais e antrópicas em canais fluviais. Assim, este primeiro momento da pesquisa teve como propósito criar uma base conceitual objetiva, de modo a fornecer suporte para a discussão dos futuros resultados. Vale salientar que tal procedimento prolonga-se durante todo o tempo de execução da pesquisa.

Ao mesmo tempo em que se realizava a pesquisa bibliográfica, adquiriu-se material cartográfico necessário para o desenvolvimento do trabalho (Tabela 1).

Tabela 1 – Material cartográfico utilizado na pesquisa

Plano de Informação	Escala	Fonte	Ano
Cartas Topográficas (curvas de nível, pontos cotados, hidrografia e malha viária)	1: 25:000	DSG (ITCG)	2002
Geologia	1: 50.000	Pró-Atlântica/ MINEROPAR	2005
Geomorfologia (Macrozoneamento do Litoral)	1: 50.000	IPARDES	1989
Pedologia	1: 50.000	Carta Pedológica da área de drenagem da Baía de Antonina	2009
Cobertura e Uso da Terra	1: 50.000	Pró-Atlântica (ITCG)	1999
Clima	1:50.000	ITCG	2008

Todos os dados espaciais foram armazenados no sistema de coordenadas cartesianas e no sistema de projeção UTM (Universal Transverso de Mercator), 22 Sul, e no *datum* horizontal correspondente ao SAD-69 (Datum Sulamericano de 1969).

As cartas topográficas que recobrem a bacia hidrográfica do rio Cachoeira são: MI 2843/1 NE (Jaguaririca), MI 2843/2 NO (São Sebastião), MI 2843/1 SE (Bairro Alto), MI 2843/2 SO (Rio Pequeno), MI 2843/3 NE (Rio do Nunes), MI 2843/4 NO (Rio Cachoeira), MI 2843/4 NE (Itaqui) e MI 2843/4 SO (Antonina), conforme apresentadas na Figura 4.

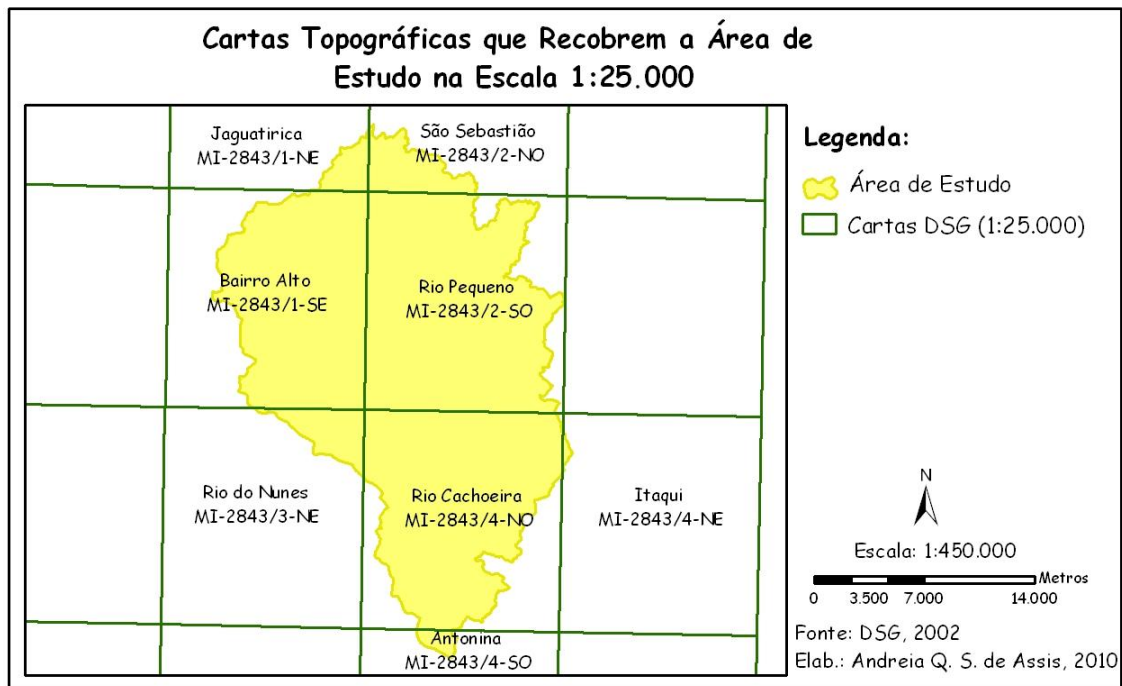


Figura 4 – Articulação das Cartas Topográficas da Área de Estudo

Com a aquisição das cartas topográficas e os arquivos vetoriais citados anteriormente, partiu-se para a verificação dos mesmos e suas possíveis correções, como por exemplo, o traçado da rede hidrográfica e as cotas das curvas de nível, utilizando-se do *software* ArcGis 9.2.

Com os dados em formato digital dos diversos elementos supracitados (geologia, clima, geomorfologia, pedologia, e de cobertura e uso da terra), foi gerado os mapas temáticos referentes a cada um desses elementos, para assim caracterizar a área de estudo.

3.2. Aquisição de Produtos Orbitais, Fotografias Aéreas e Aplicações de Técnicas de Geoprocessamento

Como etapa preliminar à análise da dinâmica fluvial do rio Cachoeira, se fez necessário a aquisição de fotografias aéreas (Tabela 2) de diversos anos da área de estudo para assim efetuar a elaboração de mosaicos digitais. Além destes levantamentos fez-se uso de imagens geradas pelo satélite SPOT 5 no ano de 2005 (31/12/2005), cuja resolução espacial é de 5 metros, adquiridas pelo Governo do Estado do Paraná.

Tabela 2 - Descrição dos levantamentos aerofotogramétricos adquiridos para a região da bacia hidrográfica do rio Cachoeira

bacia hidrográfica do rio Caceróia			
Vôo existente	Característica das fotografias aéreas		Órgão Responsável
Ano	Escala	Cor	
1954	1: 25.000	Pancromática	SEMA
1980	1:25.000	Pancromática	SEMA
1996	1:30.000	Pancromática	Engefoto

3.2.1. Elaboração do Mosaico de Fotografias Aéreas de 1954

No início do desenvolvimento da pesquisa o vôo contemplado foi o referente ao ano de 1954, primeiro vôo do estado do Paraná, cuja relação de fotos que recobrem a bacia do Rio Cachoeira está disponível na Tabela 3. Estas fotografias foram adquiridas na Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA/PR) em formato analógico, na escala de 1:25.000 e na cor pancromática.

Tabela 3 - Relação das fotografias aéreas da Bacia do Rio Cachoeira (1954).

Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4	Faixa 5	Faixa 6	Faixa 7	Faixa 8
18547	18548	18549	18550	18551	18552	18553	
18485	18486	18487*	18488*	18489*	18490	18491	
	18520	18419	18420*	18421*	18422	18423	18424
	18450	18449	18448*	18447*	18446	18445	18444
			18518	18517*	18516*	18515*	18514
				20354	20355*	20356*	20357
				20327	20326*	20325*	20324*
				20296*	20297*	20298*	
			20266*	20265*	20264*		

* Fotografias retificadas

Uma vez selecionadas as fotografias que recobrem a área de interesse, realizou-se a digitalização das mesmas. Para tanto, se adotou uma resolução de 600 dpi¹. Os arquivos gerados foram salvos numa única banda (em tonalidades de cinza) no formato TIF, devido a sua alta definição. Assim, obtiveram-se arquivos digitais de alta qualidade, cuja finalidade referiu-se à produção do mosaico fotográfico da área de estudo.

A etapa seguinte consistiu no processo de retificação de cada fotografia digitalizada. Segundo Andrade (1998), a retificação é uma projeção segundo seu próprio feixe perspectivo para um plano horizontal. Deste modo é possível modificar e até eliminar totalmente os ângulos de altitude da câmera em relação a um dado referencial, bem como a distância focal da imagem resultante.

O principal objetivo da retificação para a fotogrametria aérea/orbital é gerar uma nova imagem vertical sem distorções introduzidas pela altitude do sensor durante a tomada da imagem, podendo ser isenta de erros de deslocamento devido ao relevo, quando usada a ortorretificação.

Devido grande parte da área da bacia hidrográfica do rio Cachoeira estar localizada em área de relevo íngreme, optou-se por retificar apenas parte das fotografias aéreas, abrangendo assim somente o trecho do curso do rio Cachoeira e uma área em seu entorno de aproximadamente 1.500 a 2.000 metros, sendo essa área suficiente para atender aos objetivos da pesquisa.

Para a execução do processo de retificação das fotografias do rio Cachoeira foi utilizado o software Global Mapper 8.0. É pertinente ressaltar que como imagem base utilizou-se uma ortoimagem da Serra do Mar, material este fornecido pela empresa Aerosat Engenharia e Aerolevante Ltda.

Visando minimizar as distorções inerentes ao processo de retificação, fez-se necessária a determinação de uma média de 60 pontos de controle para cada fotografia aérea. Sobre a escolha do número de pontos de controle, Jones *et al.*, (1993) *apud* Ribeiro (2002) relatam que essa decisão está relacionada ao valor do *RMS error* (erro médio quadrático) do software utilizado, ou seja, é recomendado se utilizar de uma grande quantidade de pontos de controle para minimizar possíveis distorções e garantir precisão.

¹ é uma medida de densidade relacionada à composição de imagens, que expressa o número de pontos individuais que existem em uma polegada linear na superfície onde a imagem é apresentada.

A etapa seguinte referiu-se à confecção do mosaico de fotografias aéreas do rio Cachoeira, permitindo assim a obtenção de uma imagem única. Para a realização deste processo, que corresponde à montagem das linhas de vôo das fotografias aéreas, foi utilizado o software ERDAS Imagine 9.0. O mosaico em questão está ilustrado na Figura 5.

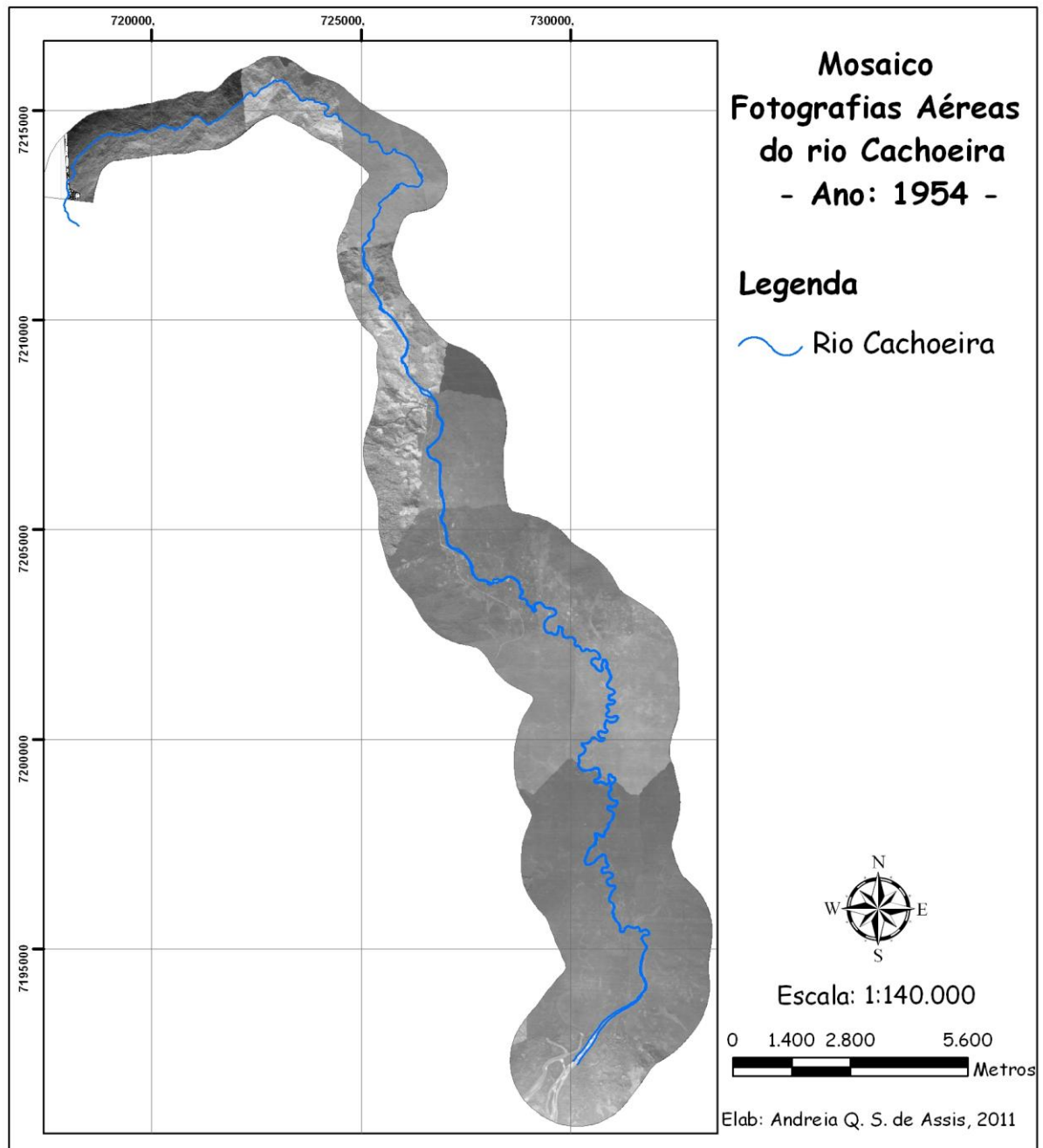


Figura 5 – Mosaico fotográfico de 1954 do rio Cachoeira e seu entorno

3.2.2. Elaboração do Mosaico de Fotografias Aéreas de 1980

Para a elaboração deste mosaico, foram adquiridas fotografias aéreas analógicas do ano de 1980 da área a ser estudada, na escala de 1:25.000 e em tonalidade de cinza, apresentado na Tabela 4.

Tabela 4- Relação das fotografias aéreas da Bacia do Rio Cachoeira (1980).

Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4	Faixa 5	Faixa 6	Faixa 7	Faixa 8
			53516	53515	53514		
53438*	53439*	53440*	53441*	53442*	53443		
53600*	53599*	53598*	53597*	53596	53595		
		55597	55596*	55595*	55594*	55593	
			53623	53624*	53625*	53626*	53627
			53647*	53646*	53645*	53644*	53643
			55879*	55878*	55877*	55876*	55875
		55629*	55630*	55631*	55632*	55633*	

* Fotografias retificadas

Os procedimentos adotados para digitalização e retificação das fotografias aéreas de 1980, bem como para mosaicagem destas, foram os mesmos adotados para a confecção do mosaico do ano de 1954. O mosaico de 1980 está representado na Figura 6.

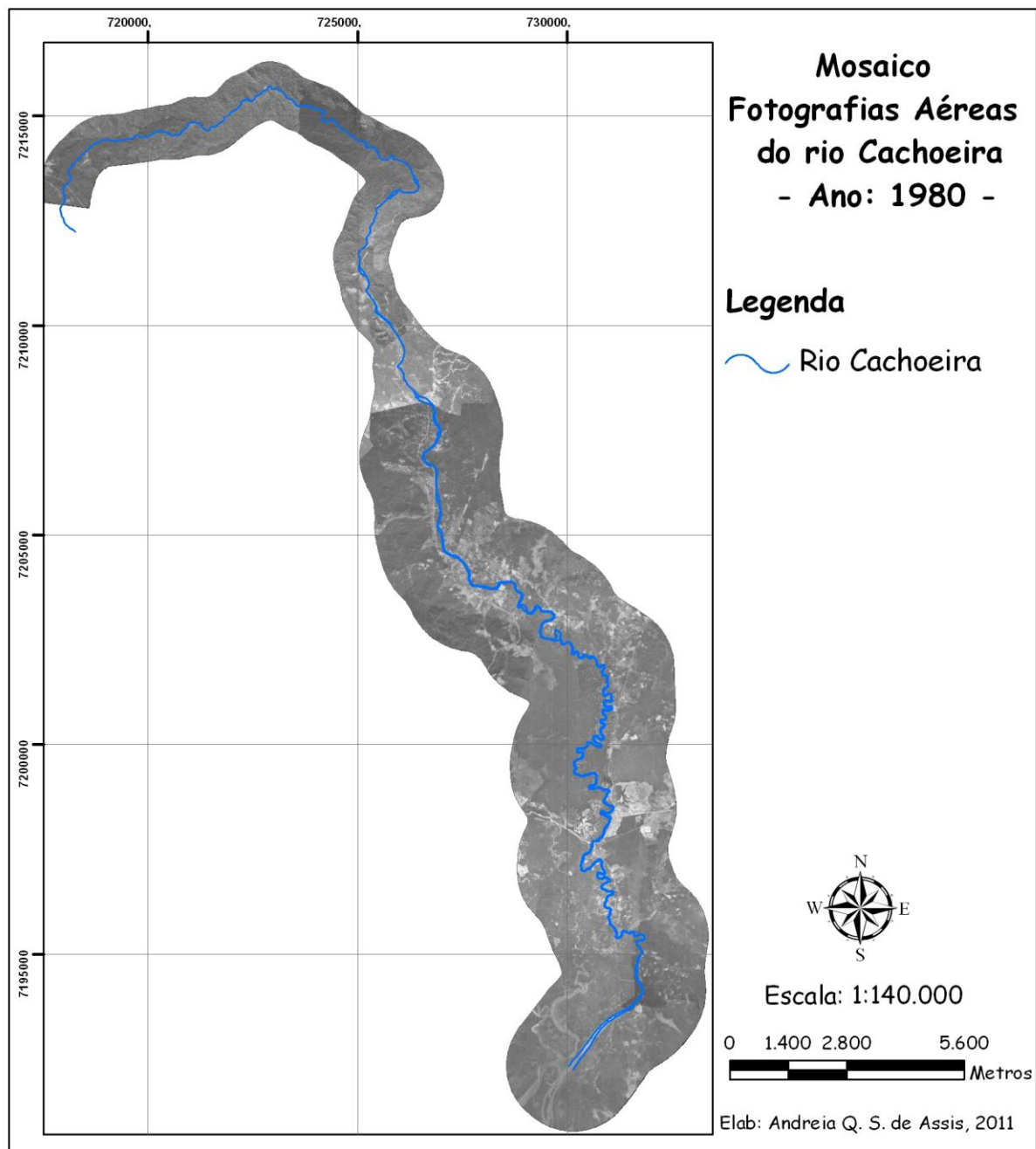


Figura 6 – Mosaico fotográfico de 1980 do rio Cachoeira e seu entorno

3.2.3. *Elaboração do Mosaico de Ortofotos de 1996*

O mosaico fotográfico do ano de 1996 (Figura 7) foi elaborado a partir de quatro ortofotocartas correspondentes às cartas topográficas na escala de 1:50.000 adquiridas na SEMA/PR, são elas: C28431se, C28432so, C28433ne, C28434no. Estes arquivos já estavam em meio digital e georreferenciados, apenas necessitando o processo de mosaicagem. O procedimento adotado foi o mesmo dos mosaicos anteriormente descritos.

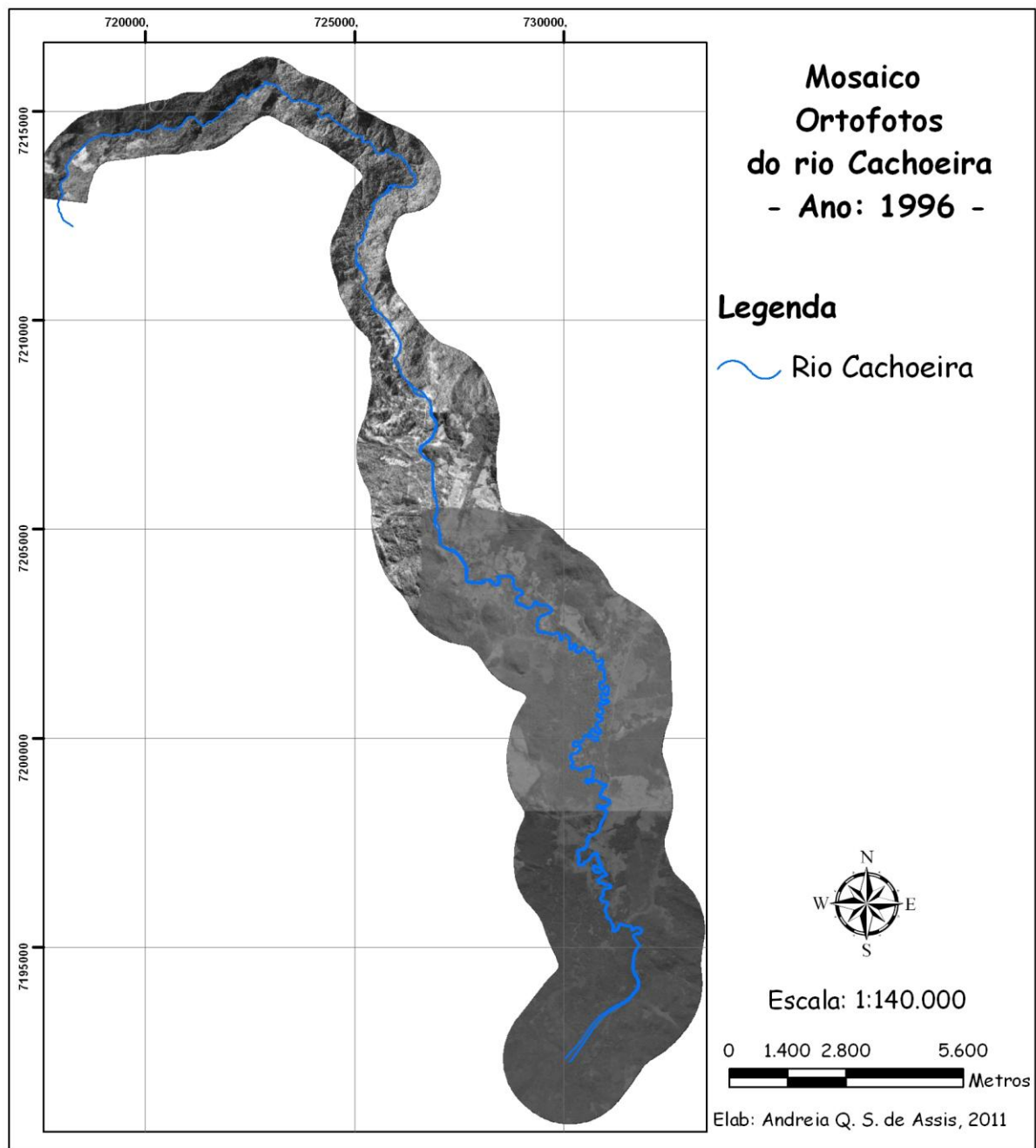


Figura 7 – Mosaico fotográfico de 1996 do rio Cachoeira e seu entorno

3.2.4. Elaboração do Mosaico de Imagens SPOT-5 de 2005

Para a elaboração do mosaico do ano de 2005 do rio Cachoeira, foram utilizadas quatro ortoimagens retificadas SPOT-5, cedidas pela Aerosat Engenharia e Aerolevantamentos Ltda, quais sejam: 28431, 28432, 28433 e 28434. Estas ortoimagens foram confeccionadas a partir da fusão entre a composição multiespectral (cor verdadeira) e a imagem pancromática, cuja resolução é de 5

metros. A cena que originou as ortoimagens refere-se à órbita-ponto 713-401, tendo sido obtida no dia 31/12/2005.

O processo de mosaicagem foi o similar ao descrito anteriormente, sendo o produto resultante representado na Figura 8.

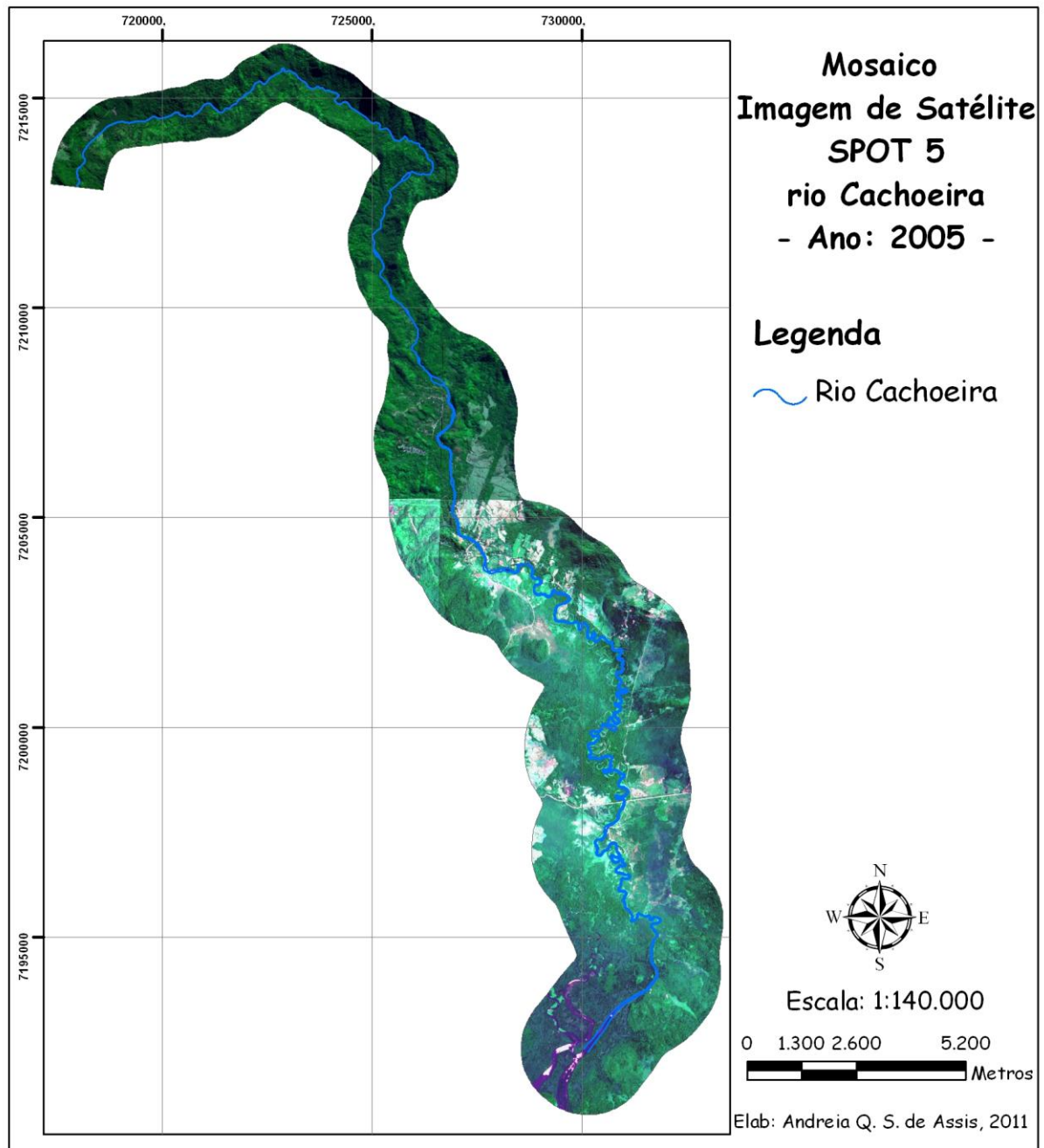


Figura 8 – Mosaico de 2005 do rio Cachoeira e seu entorno

3.3. Trabalho de Campo

Durante o desenvolvimento do trabalho foi realizada uma campanha de campo na área de estudo, com a finalidade de reconhecimento da área, já que as feições atuais não são as mesmas presentes na imagem de satélite do ano de 2005. Foram percorridos trechos da planície aluvial, onde se interessava observar os tipos feições fluviais presentes, sendo coletados pontos de controle através de GPS e fotografados os principais pontos de interesse do rio. Na Figura 9 observa-se o roteiro percorrido.

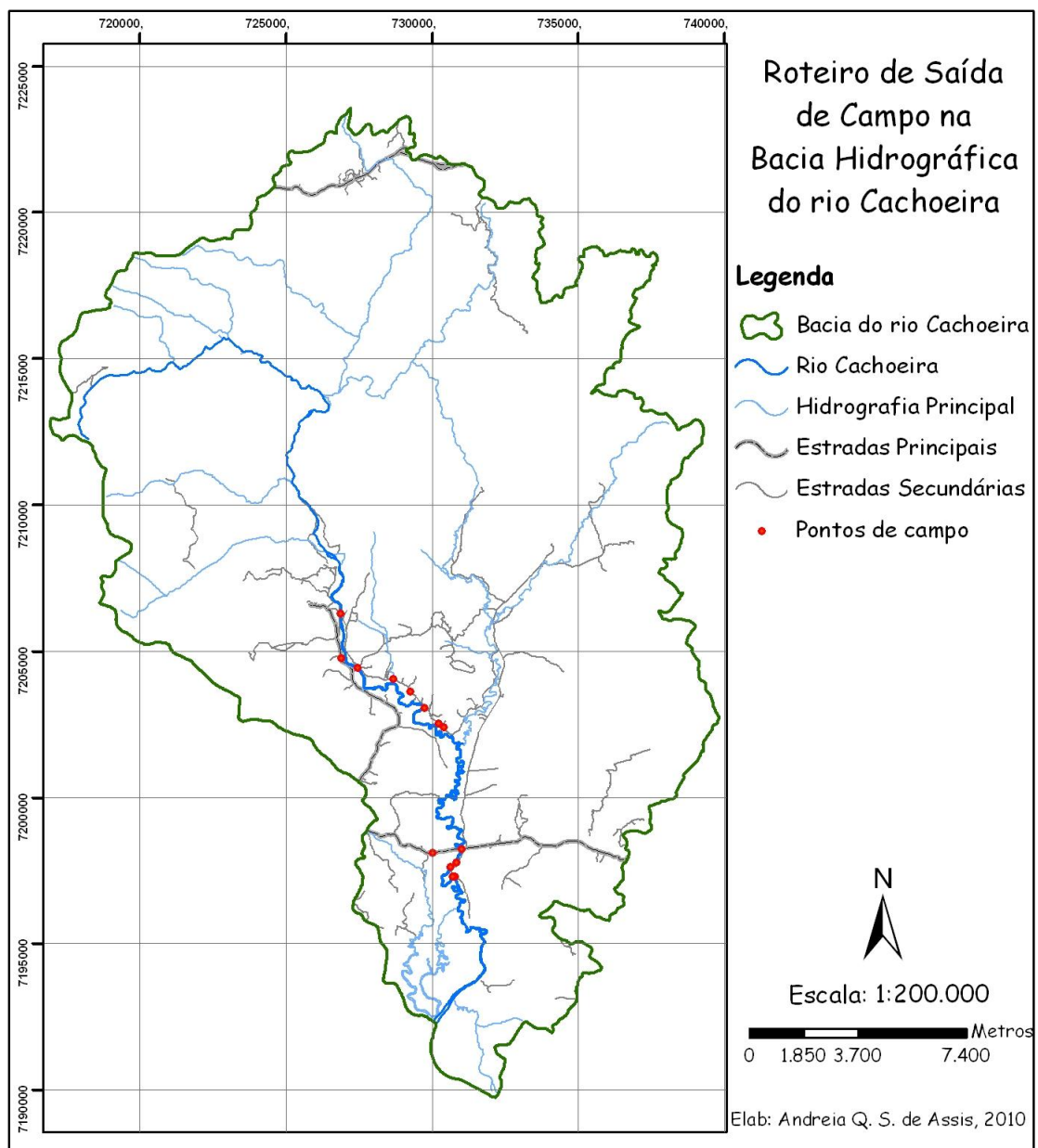


Figura 9 – Roteiro percorrido em campo na bacia hidrográfica do rio Cachoeira

3.4. Segmentação do rio Cachoeira

O rio Cachoeira possui uma extensão de 50,44 km. Optou-se em dividir o rio em dois segmentos para que as informações obtidas possam ser comparadas entre si e analisadas para cada ano a ser trabalhado.

O rio foi dividido em dois segmentos utilizando a declividade como fator de divisão, ou seja, o segmento planície do rio Cachoeira abrange uma área mais plana da bacia hidrográfica, ou seja, áreas de planície, e o segmento serra abrange uma área de alta declividade, ou seja, áreas de serra (Figura 10).

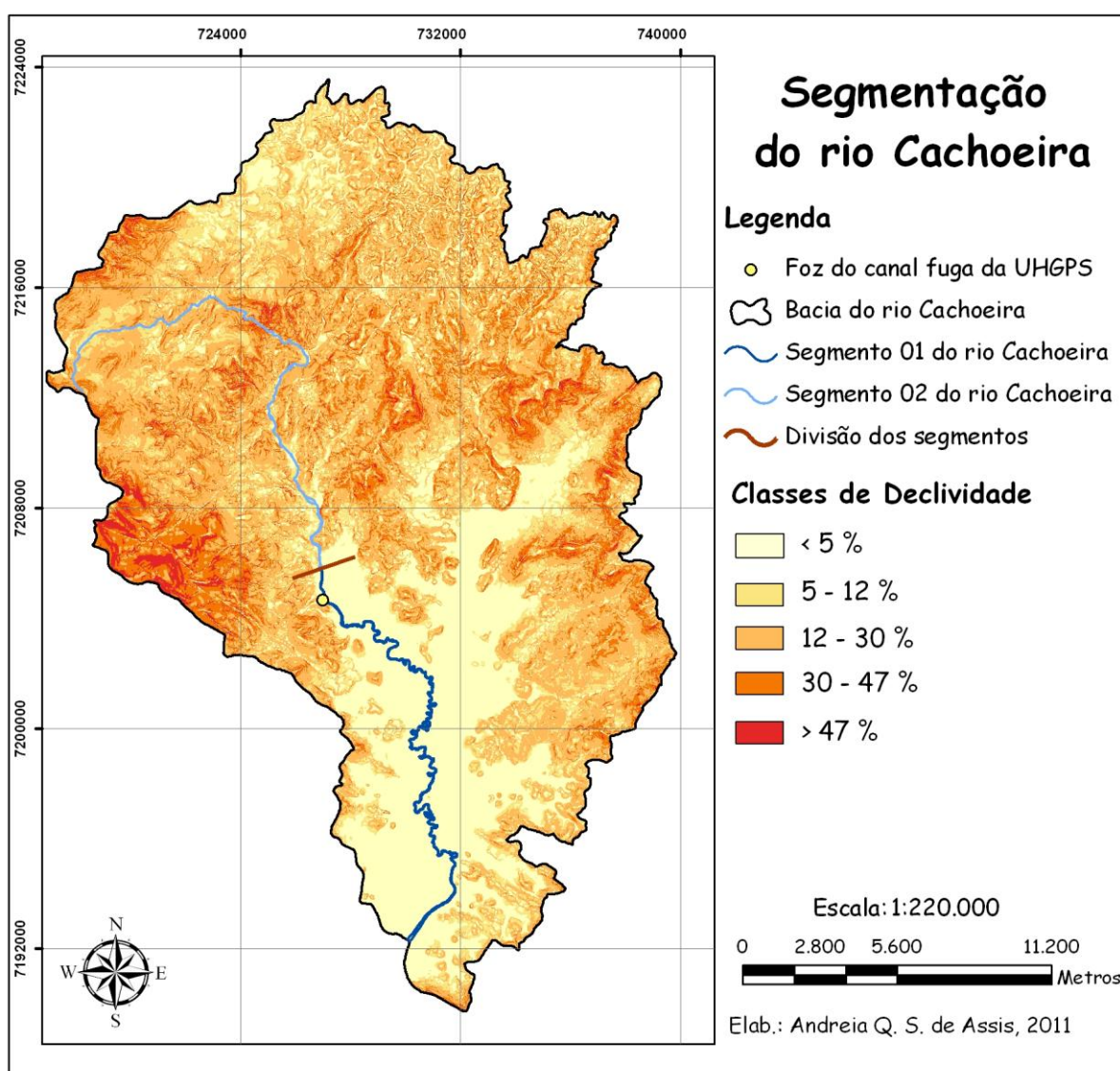


Figura 10 – Segmentação do rio Cachoeira

3.5. Feições Fluviais do rio Cachoeira

As feições fluviais do rio Cachoeira foram definidas em três classes, conforme adaptação da classificação de Riccomini *et al.* (2000) para os depósitos sedimentares em sistemas fluviais meandранtes, também utilizada por SILVA (2010), no trabalho intitulado “Caracterização e Mapeamento das Unidades Geomorfológicas da bacia do rio Pequeno, Antonina-PR”, sendo que a bacia hidrográfica do rio Pequeno é uma sub-bacia do rio Cachoeira.

As três classes fluviais são:

1 – Ilhas Fluviais: são formadas por sedimentos depositados por acreção lateral e configuram-se como feições longitudinais, recobertas ou não por vegetação, que funcionam com uma barreira natural que divide o curso fluvial em duas direções principais.

2 – Barras de Pontal: são de composição predominantemente arenosa e resultam da acreção lateral de materiais oriundos das margens côncavas depositados nas margens convexas do canal hídrico.

3 – Meandros Abandonados: são representados por trechos abandonados por curvas meândricas, em virtudes dos processos de recortamento dos pendúculos;

3.6. Mapeamento do rio Cachoeira e suas feições fluviais

A partir dos mosaicos referentes a cada ano a ser trabalhado, realizou-se o mapeamento do rio Cachoeira e de suas feições fluviais.

O mapeamento do rio foi realizado em uma escala de visualização de 1:5000, e as feições fluviais em uma escala de visualização de 1:3000, através do software ArcGis 9.2. O rio Cachoeira foi vetorizado no formato de linha, para cada lado de sua margem, e no formato de polígono, para cálculo de área. As feições fluviais foram vetorizadas no formato de polígono.

Após o mapeamento pronto foram elaborados os mapas dos dois segmentos para cada ano a ser analisado, com suas feições fluviais, e assim quantificados e comparados.

3.7. Variáveis Morfométricas e Morfológicas do rio Cachoeira

Foram definidas 10 variáveis morfométricas e morfológicas (RICCOMINI *et al.*, 2000) para obtenção de valores quantitativos, lineares e de área, para servirem de parâmetro de comparação ao longo do tempo dos dois segmentos do rio Cachoeira. São elas:

- 1 – Extensão do Canal: Refere-se ao comprimento do canal em km;
- 2 – Índice de Sinuosidade: Esta variável representa a relação entre o comprimento verdadeiro do canal com a distância vetorial (em linha reta), considerando dois pontos extremos do rio principal;
- 3 – Área do Canal: Corresponde ao valor da área ocupada pelo canal;
- 4 – Número de Meandros Abandonados: Expressa a quantidade de meandros abandonados encontrados no canal;
- 5 – Área em Meandros Abandonados: Refere-se a área ocupada pelas meandros abandonados;
- 6 – Número de Barras de Pontal: Expressa a quantidade de barras de pontal encontradas no canal;
- 7 – Área em Barras de Pontal: Refere-se a área ocupada pelas barras de pontal;
- 8 – Número de ilhas: Expressa a quantidade de ilhas identificadas no canal;
- 9 – Área em Ilhas: Refere-se a área ocupada pelas ilhas;
- 10 – Largura do Canal: Foram feitas medidas das larguras máximas, que é a medida de maior largura do canal; larguras mínimas, que é a menor largura do canal; e larguras médias, dada pela relação da área com o comprimento do canal (FONTES, 1997).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. A Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira – Antonina/PR

De acordo com Botelho (2007), para um conhecimento das reais possibilidades e limitações de uso e ocupação de uma determinada área é preciso levantar dados referentes a seus atributos físicos, como clima, geologia, geomorfologia, solos, rede de drenagem e vegetação, tomando-se a devida atenção para a necessidade de garantir um nível de investigação ou detalhamento equilibrado entre as variáveis adotadas.

A bacia hidrográfica do rio Cachoeira encontra-se localizada integralmente no município de Antonina, possuindo uma área total de 429,62 km², equivalente a 49% da área do município. Em seu limite oeste encontra-se a Serra dos Órgãos e o topo do Pico Paraná, com 1877 metros de altitude, ponto mais alto do sul do Brasil. Seus outros limites compreendem a Serra do Capivari a noroeste, a Serra da Virgem Maria a nordeste, a Serra da Repartição a leste, a Serra Cavoca a sudeste e a baía de Antonina a sul, onde o rio Cachoeira deságua (Figura 1). Em sua área encontra-se localizada diversas unidades de conservação, como parte da APA Federal de Guaraqueçaba e da AEIT do Marumbi, a RPPN Fazenda Águas Belas e grande parte da RPPN Rio Cachoeira.

Dentro da bacia hidrográfica do rio Cachoeira está localizada a Usina Hidrelétrica Governador Pedro V. Parigot de Souza, operada COPEL e seu canal fuga. Para a operação de suas turbinas, as águas do rio Capivari (localizado no Primeiro Planalto Paranaense) que recobrem área de 950 km², são escoadas para o rio Cachoeira, aumentando a vazão deste último e por consequência sua capacidade de transporte de sedimentos.

4.1.1. Clima

No âmbito regional (litoral do estado do Paraná) o clima é definido pela predominância de dois sistemas atmosféricos: MPA (Massa Polar Atlântica, originária do Anticiclone Migratório Polar), e MTA (Massa Tropical Atlântica, originária no Anticiclone Semifixo do Atlântico). A FPA (Frente Polar Atlântica), por sua vez, é fundamental no controle do regime pluvial na região o ano todo (MONTEIRO, 1968).

De acordo com Bigarella, *et al* (1978) a região da Serra do Mar Paranaense apresenta características climáticas extremamente influenciadas pela compartimentação do relevo, fato este que reflete na descontinuidade da distribuição espacial e temporal das precipitações e da temperatura.

Devido sua proximidade com o Oceano Atlântico e a Serra do Mar, a bacia hidrográfica do rio Cachoeira recebe grande influência pluviométrica, pois a região é controlada a maior parte do ano pelo anticiclone do Atlântico Sul, sendo que as frentes frias que se formam no litoral sofrem influências do relevo, que age como anteparo, ocasionando os nevoeiros e precipitações. A tendência à precipitação se dá em maior concentração na estação do verão, mas a incidência pluviométrica se dá em todos os meses do ano (BIGARELLA, *et al*, 2008). Na Figura 11 observa-se a distribuição média anual da precipitação na bacia hidrográfica do rio Cachoeira.

De acordo com a classificação de Koeppen, o clima da região apresenta-se úmido, com ausência de estação seca definida, compreendendo os climas Cfa, Cfb e Af. O Cfa é caracterizado por um clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, sendo o mês mais frio de temperatura média entre -3°C e $+18^{\circ}\text{C}$ e no mês mais quente temperatura média superior a 22°C , ocorrendo concentração de chuvas nos meses de verão, contudo, sem estação seca. Ocorre na parte de baixa altitude do litoral até aproximadamente a cota altimétrica de 700 metros. O tipo climático Cfb é definido como subtropical úmido mesotérmico com verões frescos, apresentando no mês mais frio temperatura média inferior a 18°C e no mais quente temperatura média inferior a 22°C , não possuindo estação seca definida. Ocorre aproximadamente acima da cota altimétrica de 700 metros. O tipo climático Af indica tratar-se de um clima subtropical de transição.

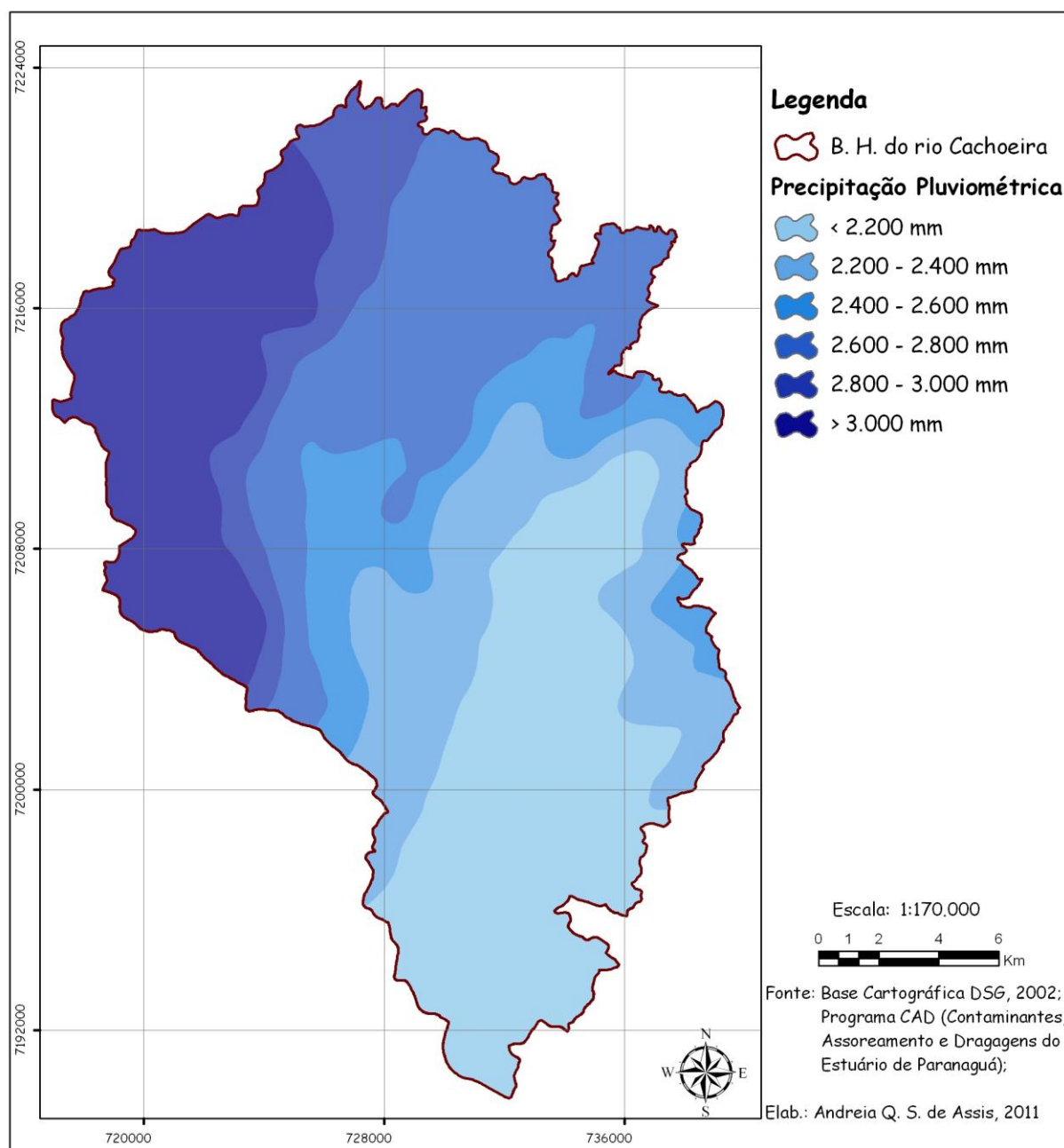


Figura 11 – Precipitação Pluviométrica média anual na bacia hidrográfica do rio Cachoeira (1975-2005)

4.1.2. Geologia

A geologia da bacia hidrográfica do rio Cachoeira é bastante complexa, abrangendo desde rochas de idade proterozóica até sedimentos recentes da Planície Costeira do Paraná.

Tomando-se por referência os dados representados na Tabela 5, gerada a partir do Mapa Geológico (Figura 12), nota-se a existência de nove unidades

geológicas na bacia hidrográfica do rio Cachoeira, dentre as quais destaca-se o Complexo Gnáissico-Migmatítico, com aproximadamente 49% da área total, os Sedimentos Recentes, com 25,6% e Suíte Álcali-Granitos, com 19,8%. As demais unidades possuem pequenas representações, sendo a soma de todas elas equivalendo a 5,62% da área total da bacia.

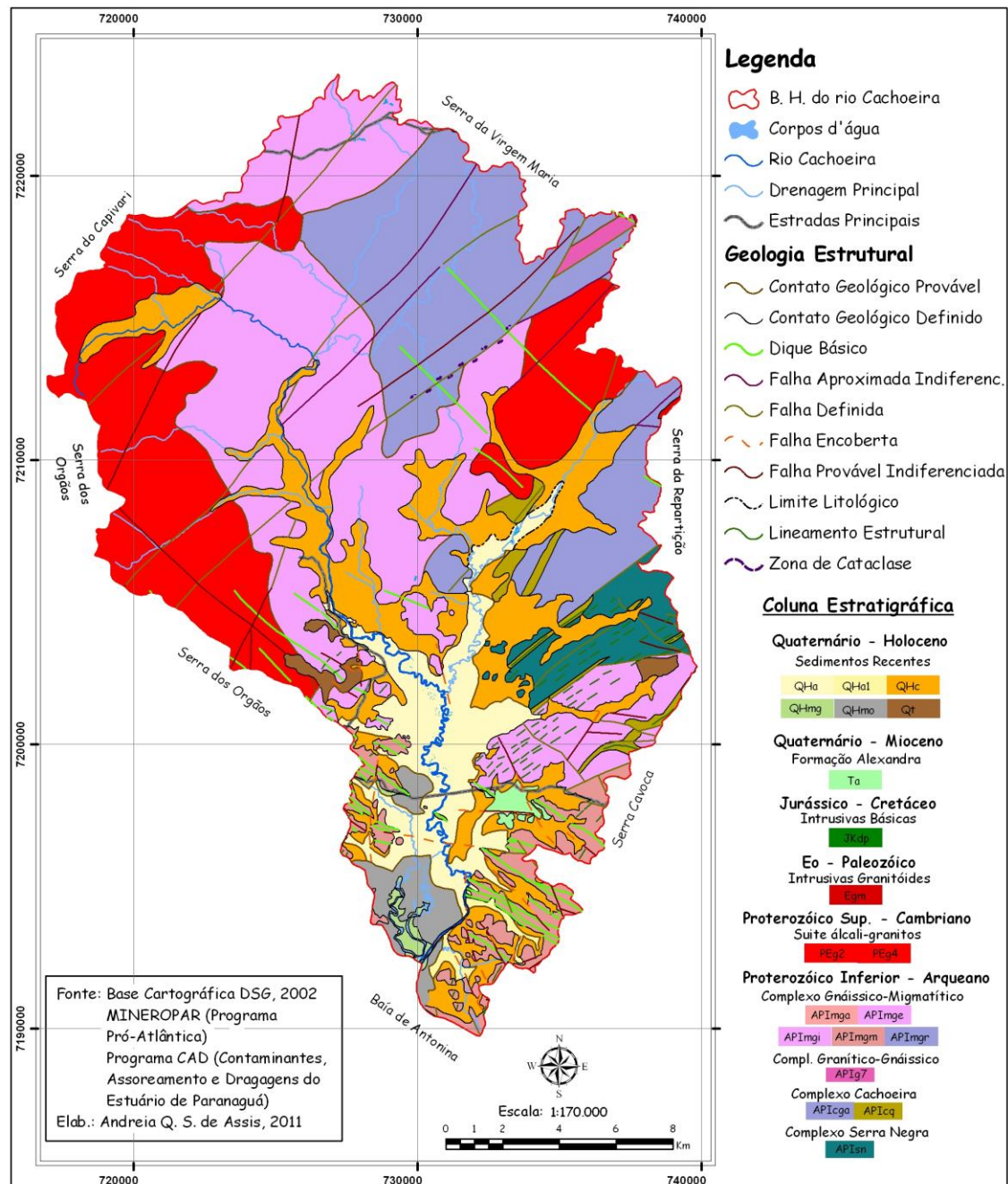


Figura 12 – Mapa Geológico da bacia hidrográfica do rio Cachoeira

Tabela 5 – Unidades Geológicas da bacia hidrográfica do rio Cachoeira

Geologia	Área (km ²)	Área (%)
Suíte Álcali-Granitos	84,6	19,69
Complexo Cachoeira	7,68	1,79
Complexo Gnáissico-Migmatítico	209,62	48,79
Complexo Granítico-Gnaísico	1,72	0,4
Complexo Serra Negra	12,93	3,01
Intrusivas Básicas	0,011	0
Intrusivas Granitóides	0,144	0,03
Formação Alexandra	1,79	0,42
Sedimentos Recentes	109,48	25,48
Corpos d'água	1,65	0,38

Org.: Andreia Q. S. de Assis, 2010

4.1.3. Geomorfologia

4.1.3.1. Dados Morfométricos

A bacia hidrográfica do rio Cachoeira é uma bacia de 7ª ordem, segundo a classificação de Strahler (1952), possuindo uma área de 429,62 km² e seu canal principal, o rio Cachoeira, uma extensão de aproximadamente 50,4 km, o qual nasce a uma altitude aproximada de 1280 metros acima do nível do mar. Seus principais afluentes são os rios São Sebastião, Cotia, Inácio Alves e o Pequeno, desaguando na baía de Antonina.

De acordo com Christofolletti (1980), a densidade de drenagem (Dd) correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento (N) com a área drenada (A), ou seja: $Dd = N/A$. Na bacia hidrográfica do rio Cachoeira o comprimento total dos canais hídricos é de 1452,41 km, e como já foi citado, a área da bacia é de 429,62 km². Sendo assim, tem-se a densidade de drenagem da bacia de 3,38 km/km², demonstrando um elevado escoamento superficial e uma intensa dissecação do relevo.

O índice de sinuosidade representa a relação entre o comprimento verdadeiro do rio com a distância vetorial (em linha reta), considerando dois pontos extremos do rio principal (CHRISTOFOLETTI, 1980). No rio Cachoeira tem-se um índice de sinuosidade de 2,17, indicando forte tendência meandrante.

As altitudes da bacia hidrográfica do rio Cachoeira estão compreendidas entre 10 e 1870 metros. As maiores altitudes estão localizadas na porção noroeste da bacia e as menores altitudes nas áreas de depósitos fluviais, localizados na porção sul da bacia, onde o rio Cachoeira deságua na baía de Antonina (Figura 13).

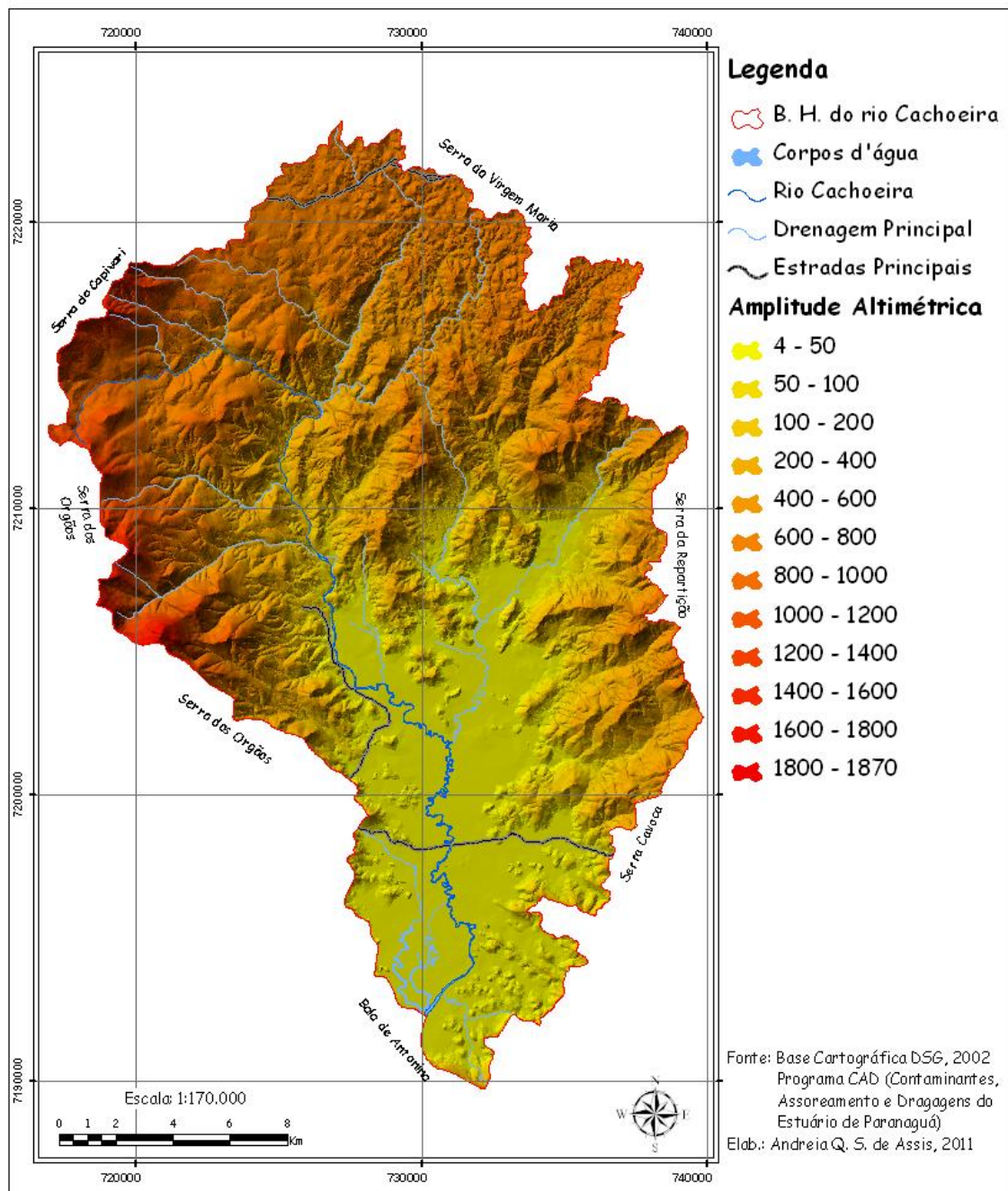


Figura 13 – Representação do MDT da bacia hidrográfica do rio Cachoeira

Com relação à declividade da bacia do rio Cachoeira, como se pode observar na Figura 14 e 15, o predomínio é da classe 12 - 30% de declividade, com 41,47% da área total, sendo seguido pela classe < 5%, como 28,23% da área.

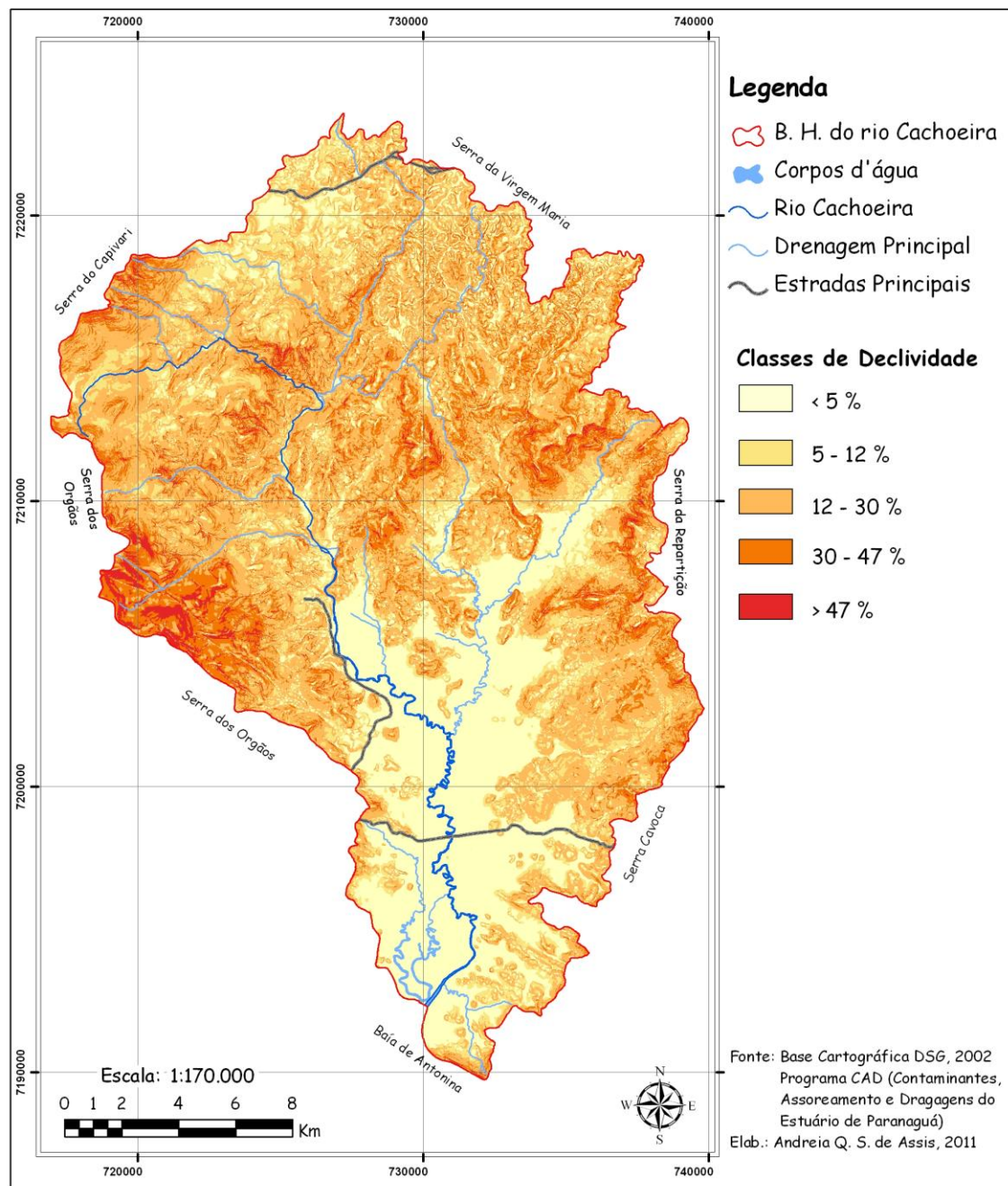


Figura 14 – Mapa Clinográfico da bacia hidrográfica do rio Cachoeira

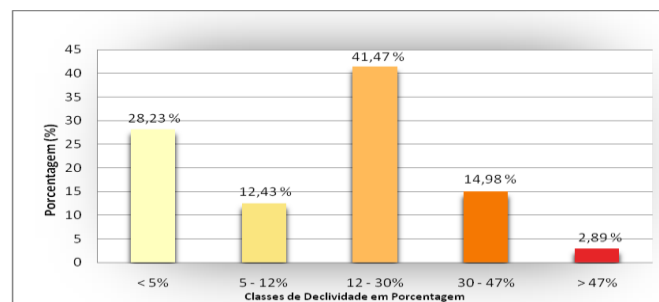


Figura15 - Distribuição das classes de declividade na bacia hidrográfica do rio Cachoeira

4.1.3.2. Formas de Relevo

De acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado do Paraná, elaborado por Santos *et. al.* (2006), a bacia hidrográfica do rio Cachoeira está inserida em duas unidades morfoestruturais, o *Cinturão Orogênico do Atlântico* e *Bacias Sedimentares Cenozóicas*. As unidades morfoesculturais dividem-se em *Serra do Mar*, *Primeiro Planalto Paranaense* e *Planícies* e as sub-unidades morfoesculturais da área são os *Blocos Soerguidos da Serra do Mar*, *Planalto do Complexo Gnáissico-Migmatítico*, *Serra do Mar Paranaense*, *Rampas de Pré-Serra/Serras Isoladas* e *Planície Litorânea/Planícies Flúvio-Marinhas*.

As formas de relevo são classificadas em dez unidades na bacia hidrográfica do rio Cachoeira, de acordo com a classificação de IPARDES (1989), sendo elas: Planalto Dissecado, Serras, Morros, Colinas, Áreas Coluviais, Áreas Coluviais Montanhosas, Planícies Aluviais, Planícies Aluviais não significativas, Planícies de Restinga e Mangues, conforme apresentado na Tabela 6 e Figura 16 e descrito a seguir.

Tabela 6 – Formas de relevo bacia hidrográfica do rio Cachoeira

Forma de Relevo	Área (km ²)	Área (%)
Planalto Dissecado	50,57	11,77
Serras	259,72	60,45
Morros	1,48	0,34
Colinas	6,42	1,49
Áreas Coluviais	0,89	0,21
Áreas Coluviais Montanhosas	32,64	7,60
Planícies Aluviais	68,25	15,89
Planícies Aluviais não significativas	4,09	0,95
Planícies de Restinga	1,79	0,42
Mangues	2,12	0,49
Corpos d'água	1,65	0,38

Org.: Andreia Q. S. de Assis, 2010

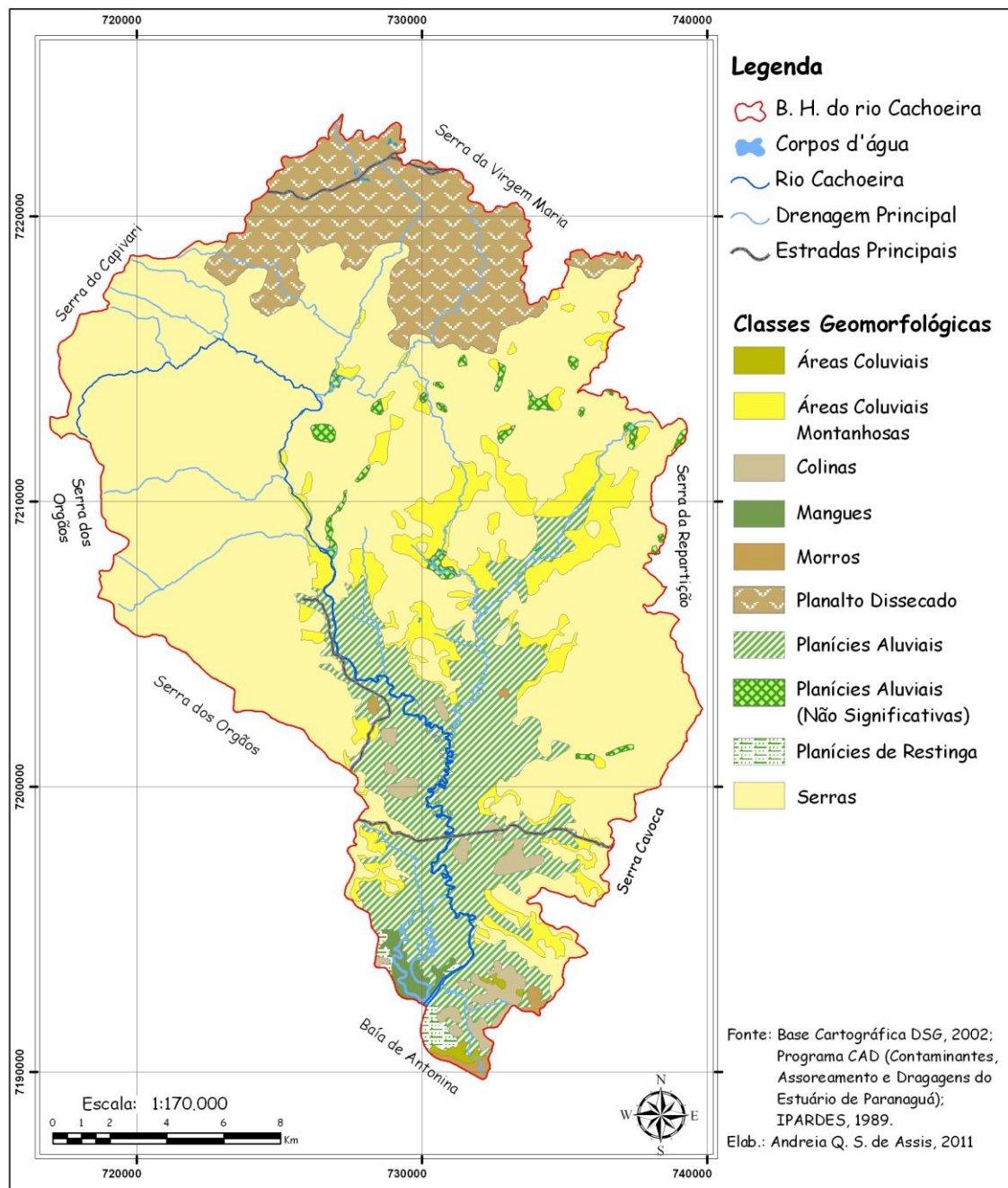


Figura 16 – Mapa Geomorfológico da bacia hidrográfica do rio Cachoeira

Planalto Dissecado: está localizado na porção norte da bacia, correspondendo à sub-unidade escultural do Planalto do Complexo Gnáissico-Migmatítico. Nesta unidade as altitudes estão entre 470 e 8520 metros e a declividade predominante entre 12 – 30%, com presença de solos rasos e pouco desenvolvidos e sustentado predominantemente por rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico.

Serras: está distribuída em toda a bacia, possuindo relevo muito enérgico com grandes desníveis, que podem alcançar mais de 1800 metros e altas declividades, predominantemente entre 12 – 30% e 30-47% (Figura 17). Os solos são pouco desenvolvidos e de escassa profundidade, ocorrendo grandes áreas com afloramentos rochosos. Diversas evidências geológicas e geomórficas mostram que ao longo de sua evolução as serras estiveram submetidas a intensos processos de erosão, comandados provavelmente por uma combinação de fatores climáticos e tectônicos durante os quais grande parte do manto de intemperismo foi removido. O clima atual, principalmente pelo tipo e volume das precipitações, apresenta alta potencialidade morfogenética, isto é, com capacidade de promover uma rápida evolução das vertentes. Por outro lado, a vegetação natural que cresce nas encostas da serra é o principal elemento ambiental da estabilização da paisagem. Ela tem conseguido manter um delicado equilíbrio na evolução dos ecossistemas serranos. A ruptura desse frágil equilíbrio dinâmico por intervenções inadequadas deverá reproduzir de forma ampliada os processos erosivos ocorridos no passado.

Morros: correspondem a pequenas áreas dentro da bacia do rio Cachoeira, com elevações entre 10 e 300 metros, sustentado predominantemente por rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico. Em alguns aspectos, como declividade e tipo de solos, são semelhantes à unidade Serras, porém tem uma extensão bem menor e estão circundados por terrenos de planície e/ou corpos d'água. Os solos variam no seu desenvolvimento e profundidade de acordo com a declividade e o material de origem, sendo mais rasos e menos desenvolvidos à medida que o declive aumenta.

Colinas: são elevações de perfil convexo e relevo mais suave que os morros. Ocupam uma pequena extensão da bacia do rio Cachoeira, tendo altitudes que variam entre 10 e 100 metros e declividade predominante menor que 5%. O substrato geológico é formado por sedimentos ou pelas rochas mais friáveis do embasamento. Os solos são relativamente profundos e bem desenvolvidos apresentando em geral boa aptidão agrícola (Figura 18).

Áreas Coluviais: referem-se às porções baixas das vertentes onde ocorreram processos de acumulação de sedimentos provenientes das partes altas. Esses sedimentos não apresentam evidências de terem sido transportados por meio fluvial e sim por processos comandados pela gravidade. Está presente em uma pequena extensão na bacia do rio Cachoeira, com elevações que variam de 10 a 100 metros e baixa declividade. Ocorrem solos mais profundos e desenvolvidos e a

geologia predominante é de sedimentos recentes formados por depósitos coluviais associados e depósitos de tálus.



Figura 17 – Serra do Mar vista ao fundo, na bacia hidrográfica do rio Cachoeira



Áreas Coluviais Montanhosas: mantêm grande parte das características das Áreas Coluviais, porém estão situadas em regiões de maiores altitudes, chegando a 720 metros e possuindo uma maior extensão na bacia do rio Cachoeira.

Planícies Aluviais e Planícies Aluviais não significativas: são áreas compostas por diversas formas elaboradas pela ação fluvial, tais como planícies de

inundação, terraços e rampas. Esta última apresenta sedimentos provenientes das encostas. Os solos, via de regra, são profundos e os localizados na planície de inundação apresentam problemas de encharcamento ou de lençol freático muito alto, além de riscos de inundação. Essas planícies foram divididas em duas unidades: Planícies Aluviais, maiores de 1,4 km² e Planícies Aluviais não significativas, menores de 1,4 km². Na bacia do rio Cachoeira essas planícies possuem altitude variando entre 10 e 140 metros e baixa declividade (Figura 19).



Figura 19 - Planície Aluvial do rio Cachoeira

Planícies de Restinga: são formadas por uma sucessão de cordões arenosos. Os solos são de baixa fertilidade natural, facilmente degradáveis e com um horizonte superficial impermeável, que origina problemas de encharcamento. Na bacia do rio Cachoeira essas planícies situam-se ao sul, onde o rio Cachoeira desemboca na baía de Antonina.

Mangues: são áreas sujeitas aos fluxos e refluxos das marés, localizados nas áreas protegidas das baías. Apresentam uma vegetação altamente especializada. Por suas características físicas, químicas e biológicas, é um ecossistema de vital importância para o equilíbrio ecológico e para a produtividade das baías e águas costeiras. Na bacia do rio Cachoeira o mangue ocorre uma pequena porção de mangue ao sul da bacia.

4.1.4. Pedologia

Na bacia hidrográfica do rio Cachoeira ocorrem quatro tipos principais de solos, conforme a classificação da EMBRAPA (2006) sendo eles: Cambissolo, Gleissolo, Organossolo e Neossolo, ocorrendo também associações entre eles e com o Argissolo e o Latossolo, como se pode observar na Figura 20 e na Tabela 7.

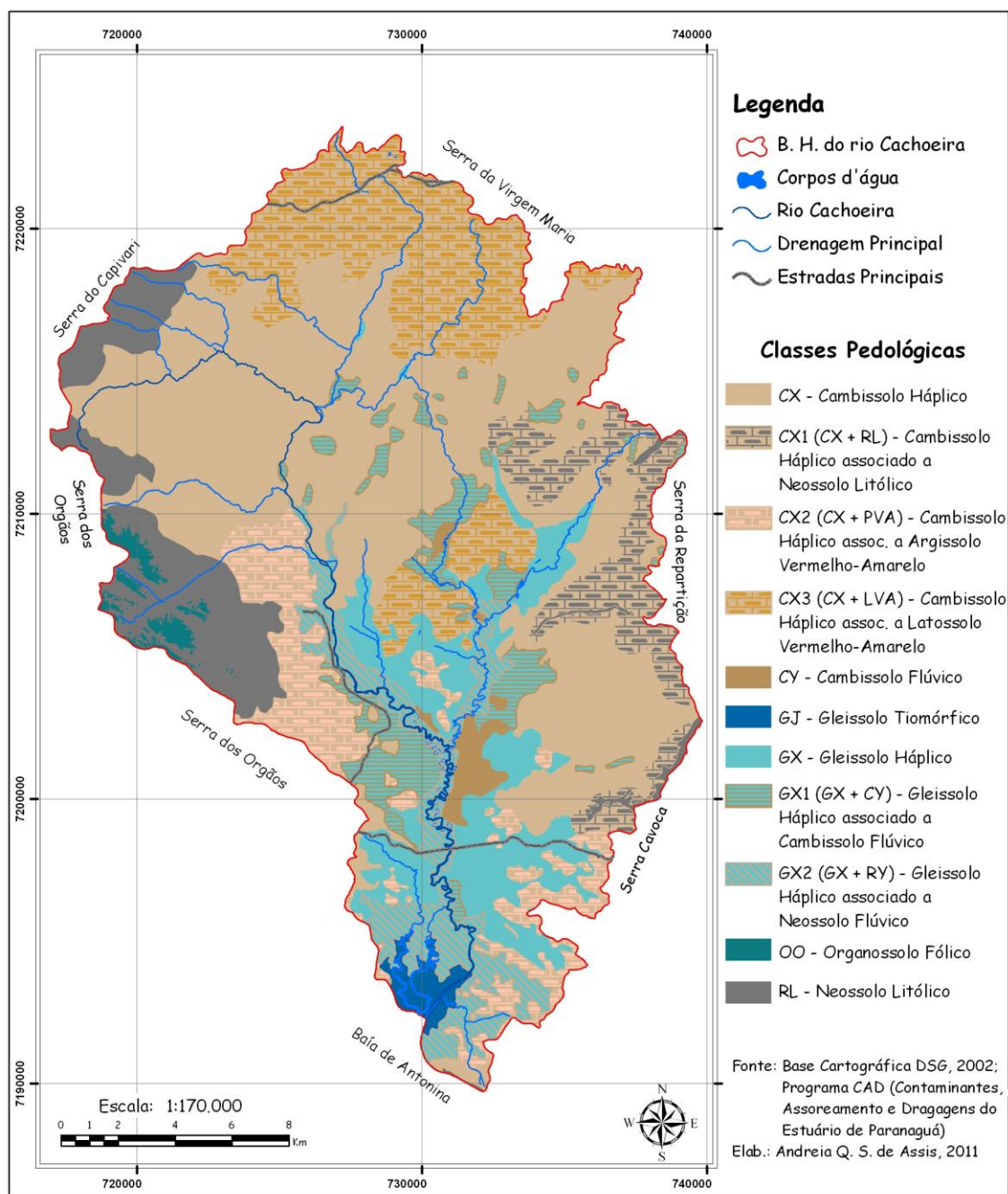


Figura 20 – Mapa Pedológico da bacia hidrográfica do rio Cachoeira

Tabela 7 – Distribuição das Classes de Solos na bacia hidrográfica do rio Cachoeira

Tipos de Solos	Área (Km²)	Área (%)
Cambissolo Háplico	161,5	37,59
Cambissolo Háplico associado a Neossolo Litólico	27,62	6,43
Cambissolo Háplico ass. a Argissolo Vermelho-Amarelo	36,6	8,52
Cambissolo Háplico ass. a Latossolo Vermelho-Amarelo	62,88	14,64
Cambissolo Flúvico	5,53	1,29
Gleissolo Tiomórfico	4,5	1,05
Gleissolo Háplico	38,7	9,01
Gleissolo Háplico associado a Cambissolo Flúvico	22,82	5,31
Gleissolo Háplico associado a Neossolo Flúvico	27,23	6,34
Organossolo Fólico	4,05	0,94
Neossolo Litólico	36,54	8,51
Corpos d'água	1,65	0,38

Org.: Andreia Q. S. de Assis, 2010

Segundo EMBRAPA (2006), a classificação de um solo é obtida a partir dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do perfil que o representa. Aspectos locais do perfil, como clima, vegetação, relevo, material originário, condições hídricas, características externas ao solo e relações solo-paisagem, são também utilizadas. A seguir tem-se uma breve descrição do primeiro nível categórico das classes de solos encontrados na área de estudo.

Cambissolos (EMBRAPA, 2006): É a classe de solos com maior ocorrência na bacia hidrográfica do rio Cachoeira, sendo possível verificar a presença de duas de suas variações. Os cambissolos compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial. Devido à heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características destes solos variam muito de um local para outro. Assim, a classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho escuro, e de alta a baixa saturação por bases e atividade química da fração argila.

Neossolo (EMBRAPA, 2006): compreende solos constituídos por material mineral, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem, como maior resistência ao intemperismo ou composição

química, ou dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos.

Argissolo (EMBRAPA, 2006): compreende solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos.

Latossolo (EMBRAPA, 2006): compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. São normalmente muito profundos, sendo a espessura do solum raramente inferior a um metro.

Gleissolo (EMBRAPA, 2006): compreende solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro dos primeiros 150 cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de horizontes A ou E, ou de horizonte hístico com menos de 40 cm de espessura. Os solos desta classe encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. A água permanece estagnada internamente, ou a saturação é por fluxo lateral no solo. Em qualquer circunstância, a água do solo pode se elevar por ascensão capilar, atingindo a superfície.

Organossolo (EMBRAPA, 2006): compreende solos pouco evoluídos, com predominância de características devidas ao material orgânico, de coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, resultantes de acumulação de restos vegetais, em graus variáveis de decomposição, em condições de drenagem restrita, ou em ambientes úmidos de altitudes elevadas, saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso.

4.1.5. Cobertura e Uso da Terra

Existem diversos sistemas de classificação da vegetação, tanto no Brasil quanto em outros países. A nomenclatura mais utilizada atualmente por técnicos da área ambiental no Brasil é a desenvolvida pelo IBGE, na versão de 1992 do Manual de Classificação da Vegetação Brasileira. Esse sistema classifica a vegetação em

formações e subformações com base na sua fisionomia, ou seja, no seu aspecto externo e em suas características aparentes comuns (Programa Proteção da Floresta Atlântica, 2002).

O IBGE gerou, a partir do programa RADAM BRASIL, um mapeamento de características e recursos naturais para todo o Brasil, utilizando como base imagens de radar e imagens de satélite. Os resultados estão publicados em inúmeros volumes de dados e mapas que cobrem diversos temas ambientais, como clima, geologia, relevo, solos e vegetação. A partir deste trabalho, a Floresta Atlântica é designada *Floresta Ombrófila Densa* e as comunidades vegetais que preparam o ambiente para o seu desenvolvimento de *Formações Pioneiras* (Programa Proteção da Floresta Atlântica, 2002).

Os dados de cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Cachoeira se referem ao uso e cobertura do solo de 1999 (Tabela 8 e Figura 21), sendo extraídas do PROGRAMA PROTEÇÃO DA FLORESTA ATLÂNTICA (2001), desenvolvido a partir do processamento digital de imagens de satélite.

Tabela 8 – Classes de Cobertura e Uso da Terra da bacia hidrográfica do rio Cachoeira

Tipo de Cobertura e Uso	Área (Km²)	Área (%)
Floresta Ombrófila Densa Aluvial	4,52	1,05
Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas	4,02	0,94
Floresta Ombrófila Densa Submontana	123,66	28,78
Floresta Ombrófila Densa Montana	55,93	13,02
Floresta Ombrófila Densa Altomontana	6,3	1,47
Fase Intermediária de Sucessão	116,79	27,18
Fase Inicial de Sucessão	89,15	20,75
Campos de Altitude	3,88	0,9
Formações Pioneiras com Influência Fluvial	5,91	1,38
Formações Pioneiras com Influência Fluviomarinha	1,23	0,29
Agricultura, Pecuária e Outros	16,58	3,86
Corpos d'água	1,65	0,38

Org.: Andreia Q. S. de Assis, 2010

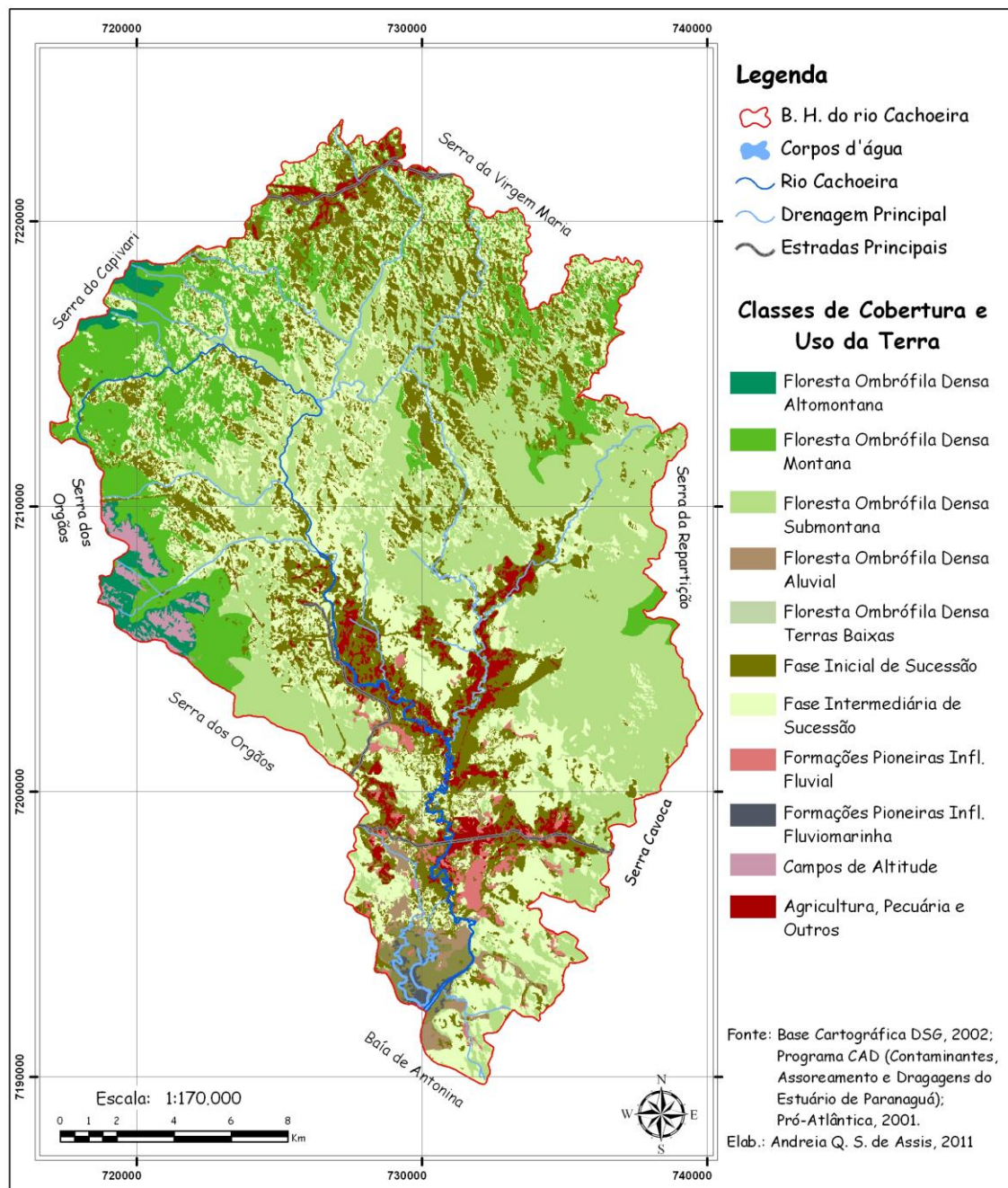


Figura 21 – Mapa de Cobertura e Uso da Terra da bacia hidrográfica do rio Cachoeira

4.2. Análise Morfométrica e Morfológica do Rio Cachoeira

Para fins de identificação de possíveis alterações em sua morfologia, o rio Cachoeira foi dividido em dois segmentos, conforme citado no capítulo Métodos e Técnicas.

A partir do estudo do canal principal do rio Cachoeira e dos mosaicos gerados através de fotografias aéreas e imagens de satélite, elaborou-se uma tabela, destacando as características morfométricas e morfológicas mais relevantes dos dois segmentos do canal, sendo elas: índice de sinuosidade, extensão do segmento, área do corpo d'água, número e área de meandros abandonados, de barras de pontal e de ilhas fluviais, e largura média, mínima e máxima do segmento.

Segue abaixo a análise das variáveis morfométricas e morfológicas dos dois segmentos a partir dos mosaicos dos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005, e as alterações produzidas neste período de 51 anos.

Para tornar mais evidente a visualização de como evoluíram as mudanças em cada segmento, após a descrição morfométrica e morfológica de cada variável são apresentados mapas referentes aos quatro períodos analisados, ou seja, 1954, 1980, 1996 e 2005.

4.2.1. Segmento Planície

O segmento planície do rio Cachoeira está situado em área de planície aluvial, possuindo declividade menor que 5 % e altitude entre 0 e 30 metros. O tipo de solo predominante deste segmento é o Gleissolo, ou seja, solo hidromórfico, este associado a Cambissolo Flúvico e a Neossolo Flúvico. A principal forma de vegetação encontrada nesta área é a agricultura (Figura 22), muitas vezes infringindo leis ambientais de áreas de preservação permanente. A pecuária também está presente neste segmento.

É neste segmento que está localizada a Usina Hidroelétrica Parigot de Souza, onde o rio Cachoeira recebe uma vazão adicional após a confluência com a descarga das comportas da hidroelétrica, através de um canal artificial criado pela COPEL. Segundo Branco (2004), a média anual da vazão do rio Cachoeira antes do início da operação da usina era de 21,13 m³/s, e atualmente esta vazão é de 31,45 m³/s, caracterizando um acréscimo de aproximadamente 33% na vazão original.

As variáveis morfométricas e morfológicas referentes ao segmento planície do rio Cachoeira foram quantificadas de acordo com os anos estudados (Tabela 9) e a seguir analisadas separadamente. Estas variáveis também podem ser observadas no mapa comparativo do segmento planície (Figura 23).



Figura 22 – Plantação de chuchu localizada no segmento planície do rio Cachoeira

Tabela – 9

Valores quantitativos morfométricos e morfológicos do segmento planície do rio Cachoeira

Variáveis do Canal		Segmento Planície				Variação
		1954	1980	1996	2005	1954- 2005
Índice de Sinuosidade		1,88	1,89	1,98	2,01	+ 6,9 %
Extensão do segmento (km)		26,08	26,16	27,36	27,87	+6,8 %
Área do corpo d'água (km ²)		0,67	0,77	0,88	0,9	+34,3 %
Número de meandros abandonados		40	44	44	45	+12,5 %
Área em meandros abandonados (km ²)		0,27	0,32	0,31	0,33	+22,2 %
Número de barras de pontal		34	32	39	56	+65,7 %
Área em barras de pontal (km ²)		0,03	0,08	0,15	0,3	+900 %
Número de ilhas		4	7	1	4	-
Área em ilhas (km ²)		0,01	0,02	0,01	0,01	-
Largura do segmento (m)	Mín.	10,75	12,55	12,8	10,58	-1,6 %
	Máx.	123,13	128,13	130,79	129,73	+5,4 %
	Média	25,69	29,43	32,16	32,29	+25,7 %

Org. Andréia Q. Soares de Assis

MAPA COMPARATIVO (Figura 23)

- Índice de Sinuosidade e Extensão do Segmento

O índice de sinuosidade do segmento planície no ano de 1954 passou de 1,88 para 2,01 em 2005, o que também resultou em um aumento na extensão do segmento, que passou de 26,08 km em 1954 para 27,87 km em 2005. Porém observa-se que o período em que ocorreu um aumento mais significativo foi de 1980 a 1996, quando o índice de sinuosidade passou de 1,89 para 1,98, e sua extensão de 26,16 km para 27,36 km, ou seja, o segmento aumentou em 75 metros por ano neste período (Figura 24 e 25).

- Área do corpo d'água

A área ocupada pelo corpo d'água do segmento planície era de 0,67 km² no ano de 1954 e passou para 0,9 km² em 2005, ou seja, um aumento de 0,23 km² em 51 anos. Porém, foi no período de 1980 a 1996 que ocorreu um maior aumento de área, observando-se um acréscimo de 0,007 km² por ano (Figura 24 e 25).

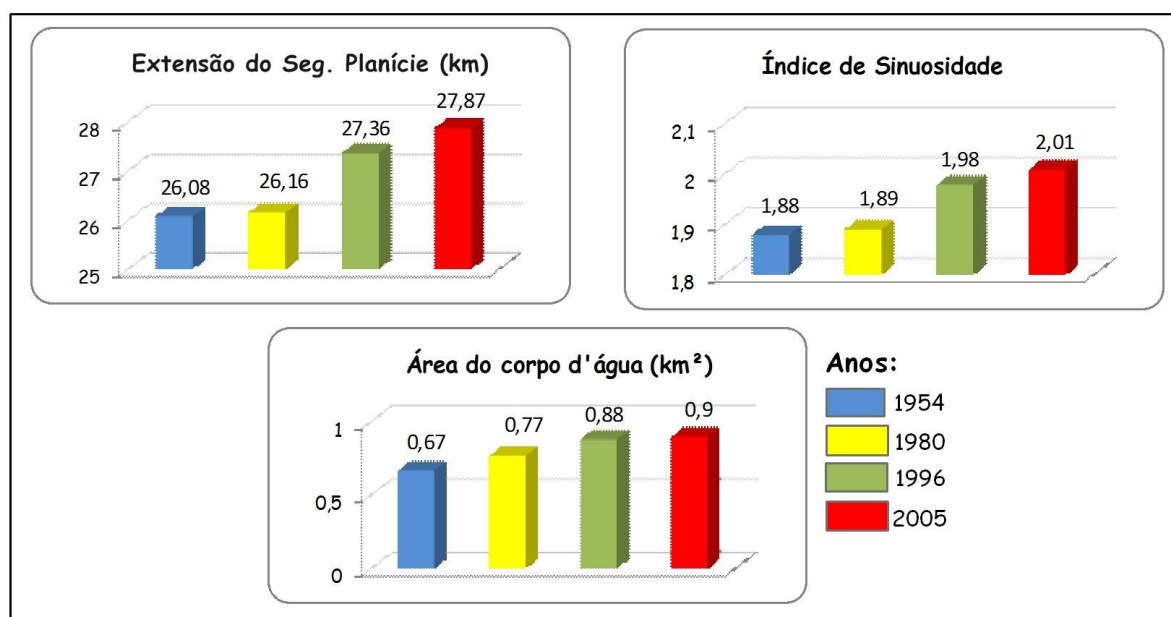


Figura 24 – Gráficos de valores de extensão, índice de sinuosidade e área do corpo d'água do segmento planície

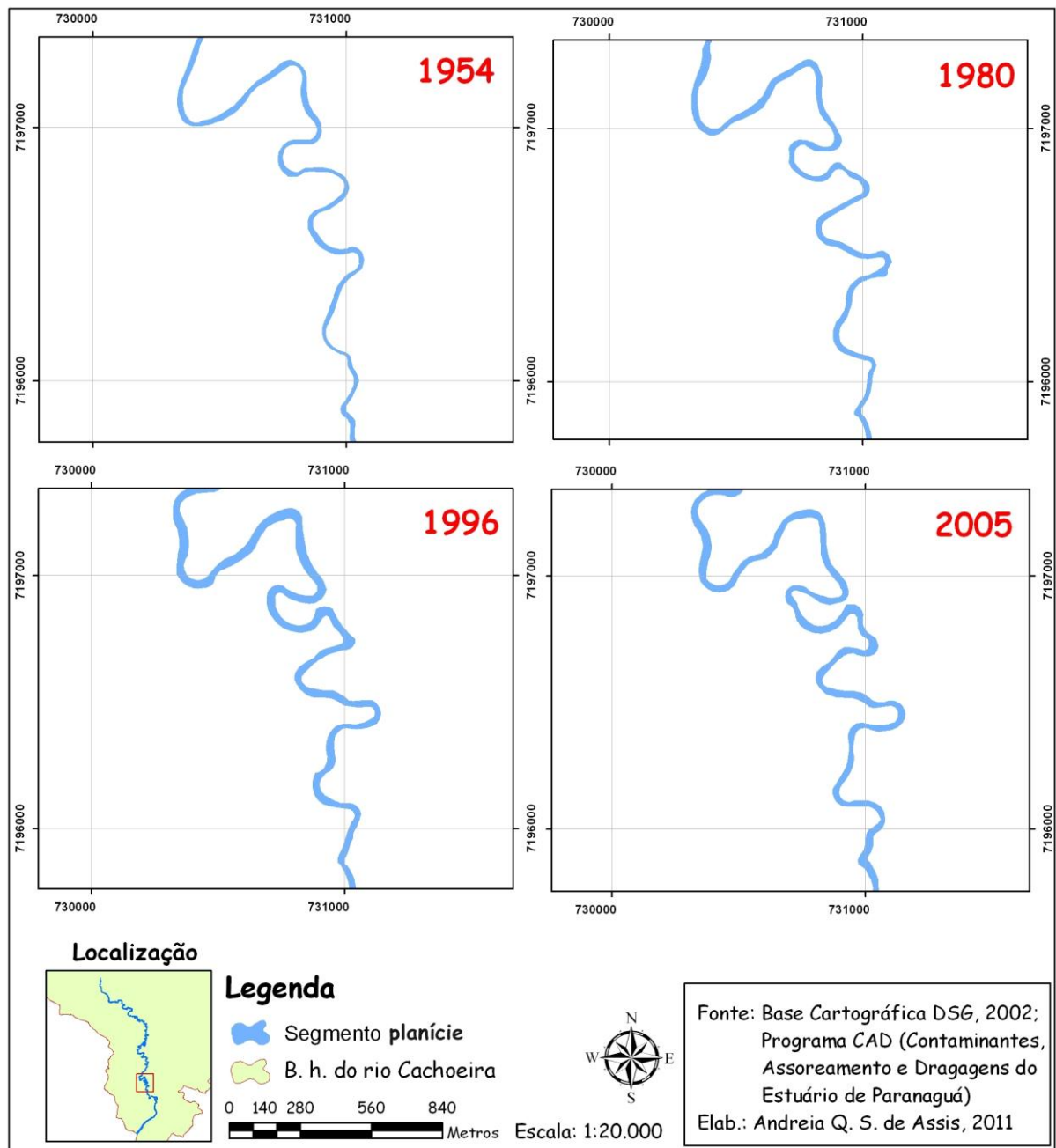


Figura 25 – Mapas comparativos de extensão, índice de sinuosidade e área do corpo d'água do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.

- Número e Área de Meandros Abandonados

O número de meandros abandonados encontrados no segmento planície era de 40 em 1954, passando para 45 em 2005. A área ocupada era de 0,27 km² em 1954 e de 0,33 km² em 2005. Porém, foi no período de 1954 a 1980 que ocorreu um aumento mais significativo, passando de 40 para 44 meandros abandonados, e recebendo um aumento da sua área de 0,27 km² para 0,32 km², ou seja, 0,002 km² por ano. De 1980 a 1996 o número de meandros abandonados permaneceu igual, porém sua área diminuiu de 0,32 km² para 0,31 km². De 1996 a 2005 ocorreu um pequeno aumento no número dos meandros abandonados, passando de 44 para 45, porém sua área teve um aumento tão significativo quanto do período de 1954 a 1980, passando de 0,31 km² para 0,33 km², ou seja, 0,002 km² por ano (Figura 26).

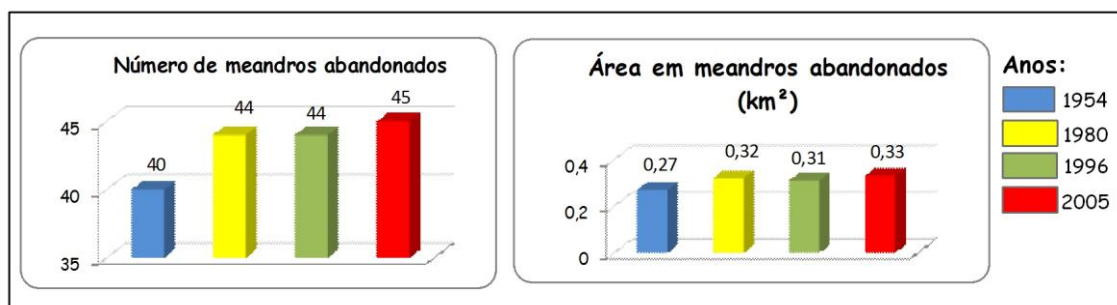


Figura 26 – Gráficos de valores de número e área de meandros abandonados do segmento planície

Podemos observar na Figura 27 a distribuição dos meandros abandonados em uma área do segmento planície, onde verifica-se o surgimento de um novo meandro abandonado entre o período de 1954 e 1980, e a modificação de seu formato ao longo dos anos. Nas Figuras 28 e 29 também observa-se os meandros abandonados encontrados neste segmento.

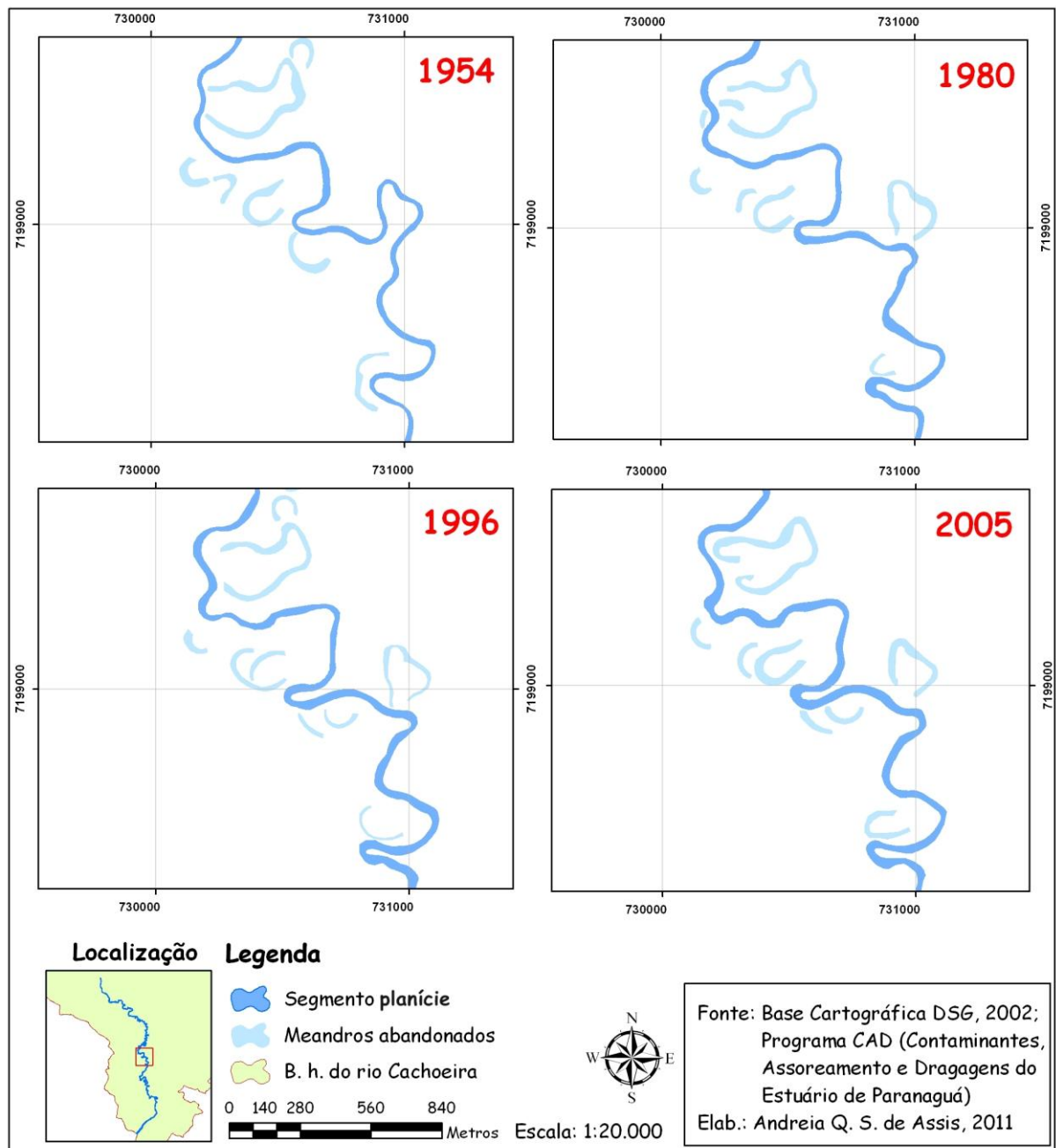


Figura 27 – Mapas comparativos de meandros abandonados do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.



Figura 28 – Meandro abandonado localizado no segmento planície

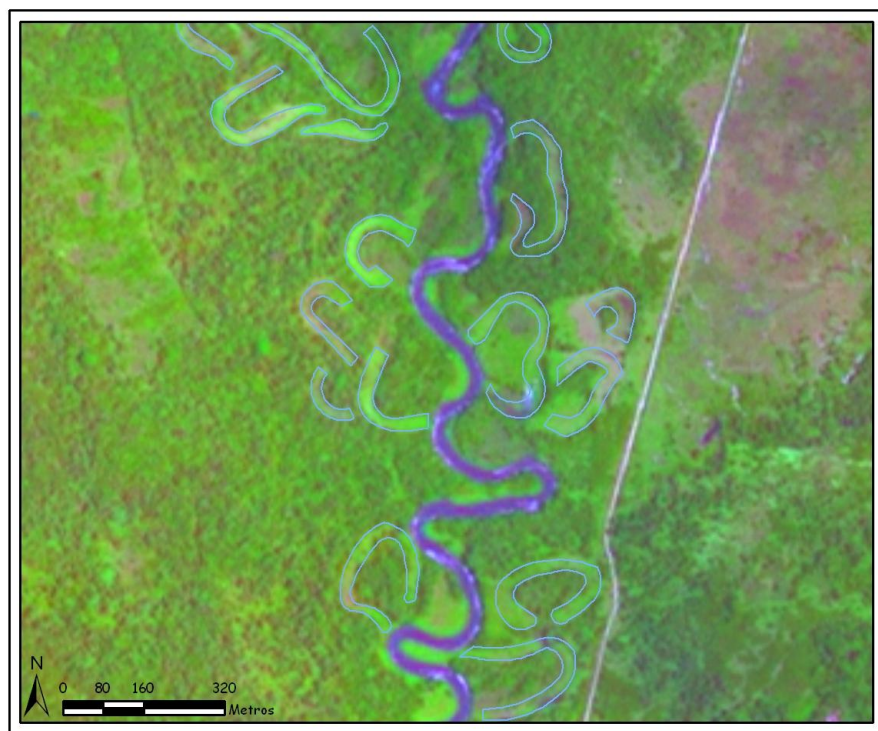


Figura 29 – Representação dos meandros abandonados do ano de 2005

- Número e Área de Barras de Pontal

O número de barras de pontal teve um grande aumento entre 1954 e 2005, passando de 34 para 56. Sua área também aumentou, passando de 0,03 km² em 1954 para 0,3 km² em 2005. Porém, ao contrário dos itens anteriores, no período de 1954 a 1980 ocorreu uma redução no número de barras de pontal, que passou de 34 para 32, no entanto, sua área teve um aumento de 0,03 km² para 0,08 km². De 1996 a 2005 o número de barras de pontal cresceu, passando de 39 para 56, e sua área, de 0,15 km² para 0,3 km², ou seja, um aumento de 1,89 barras de pontal por ano e de 0,02 km² de área por ano (Figuras 30, 31 e 32).

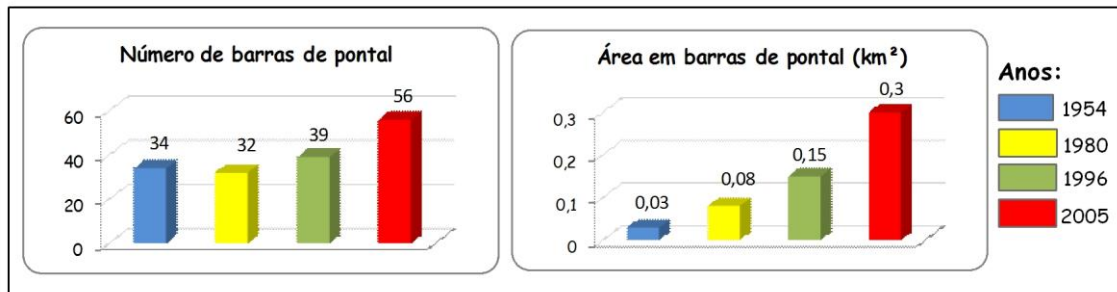


Figura 30 – Gráficos de valores de número e área de barras de pontal do segmento planície

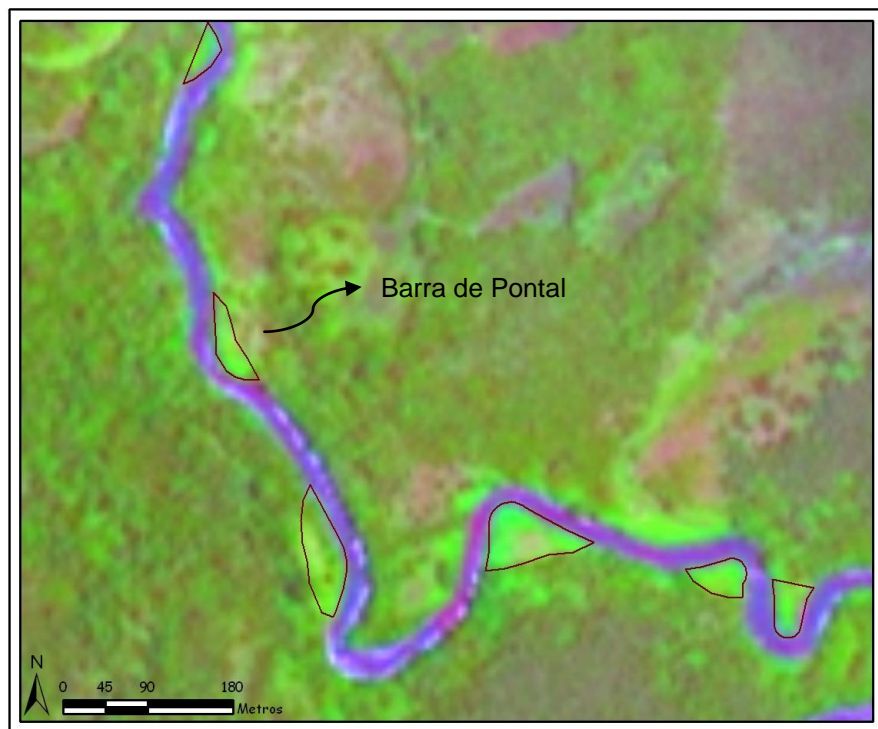


Figura 31 – Representação de barras de pontal do ano de 2005

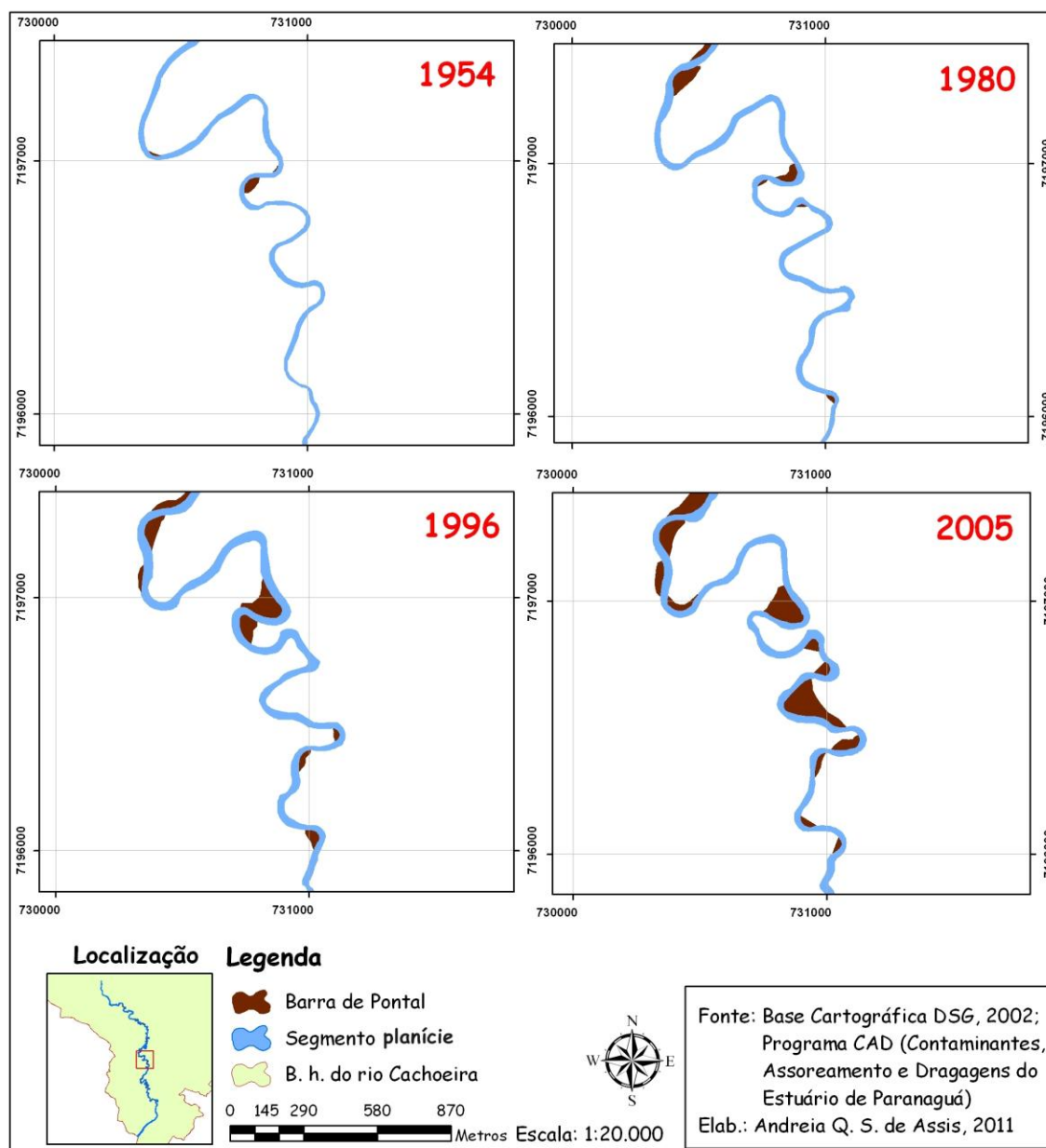


Figura 32 – Mapas comparativos de barras de pontal do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.

- Número e área de ilhas fluviais

O número de ilhas fluviais e sua área correspondente sofreu oscilações durante o período de 1954 a 2005. Em 1954 existiam 4 ilhas, passando para 7 em 1980, e sua área de 0,01 km² para 0,02 km². Já em 1996 o número de ilhas diminuiu consideravelmente, passando para apenas 1 ilha, e sua área reduziu a 0,01 km². No ano de 2005 o número de ilhas subiu para 4, voltando ao mesmo número de 1954, porém, sua área permaneceu a mesma de 1996, com 0,01 km² (Figuras 33, 34 e 35).

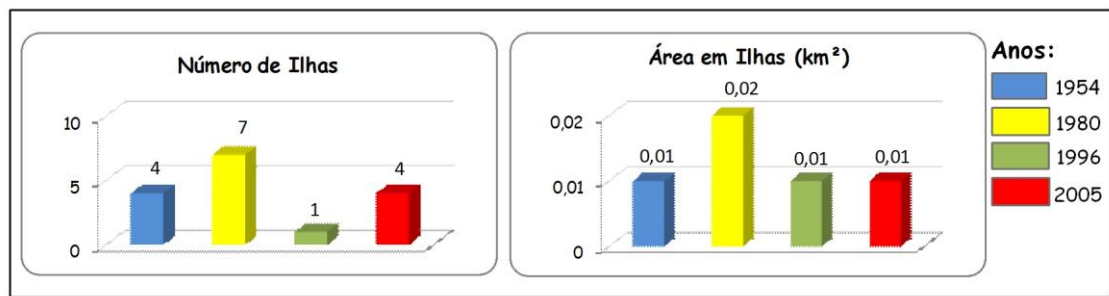


Figura 33 – Gráficos de valores de número e área de ilhas fluviais do segmento planície

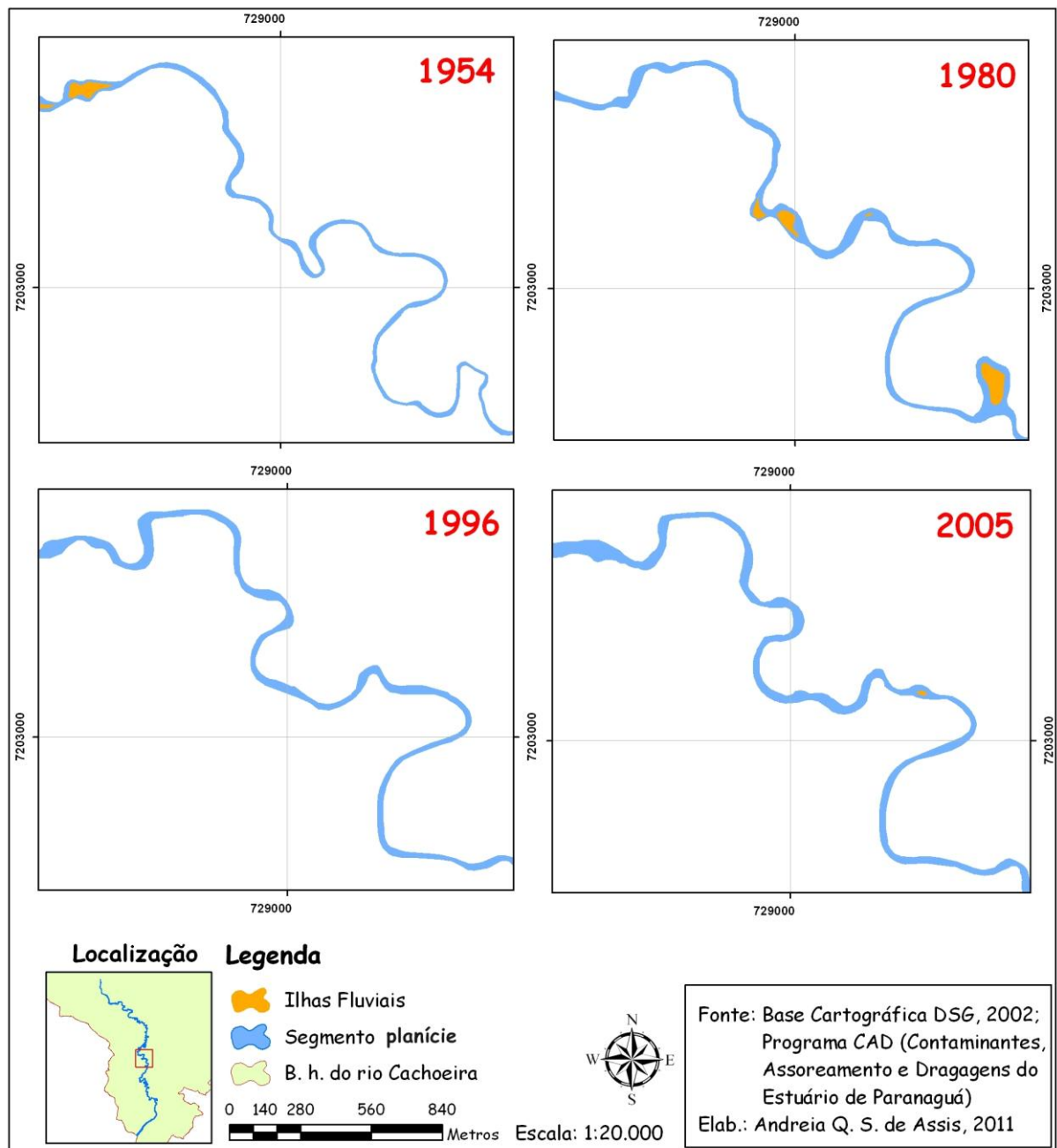


Figura 34 – Mapas comparativos de ilhas fluviais do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.

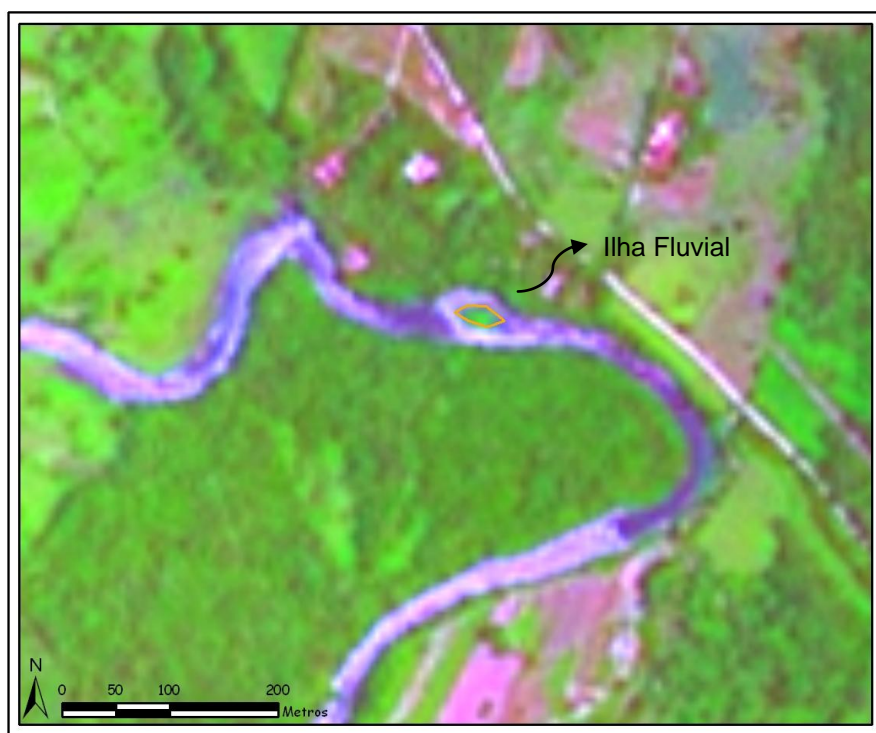


Figura 35 – Representação de ilha fluvial do ano de 2005 do segmento planície

- Largura Mínima, Máxima e Média do Segmento Planície

A largura mínima do segmento planície pouco se alterou no período de 1954 a 2005, passando de 10,75 metros para 10,58 metros. Porém durante os intervalos deste período ocorreu um pequeno aumento da largura mínima, como de 1954 a 1980, quando passou de 10,75 metros para 12,55 metros de largura mínima (Figura 36).

Na Figura 37 verifica-se a localização do trecho de menor largura do segmento planície nos quatro anos estudados, e observa-se que este trecho é diferente nos anos de 1954 e 1980, e quase na mesma localização nos anos de 1996 e 2005.

A largura máxima do segmento planície teve um aumento de 6,6 metros entre 1954 e 2005, porém no ultimo período estudado (1996 a 2005) teve uma pequena redução, de 130,79 metros para 129,73 metros (Figura 36).

O trecho de largura máxima do segmento planície permaneceu o mesmo em todos os anos, sendo que este se localiza na desembocadura do rio Cachoeira junto a Baía de Antonina (Figura 38).

A largura média do segmento planície em 1954 era de 25,69 metros, passando para 32,29 metros em 2005, ou seja, um aumento de 6,6 metros. Porém,

é no período de 1980 a 1996 que ocorreu um maior aumento da largura média, passando de 29,43 metros para 32,16 metros, ou seja, um aumento de 0,17 metros na largura média por ano (Figura 36).

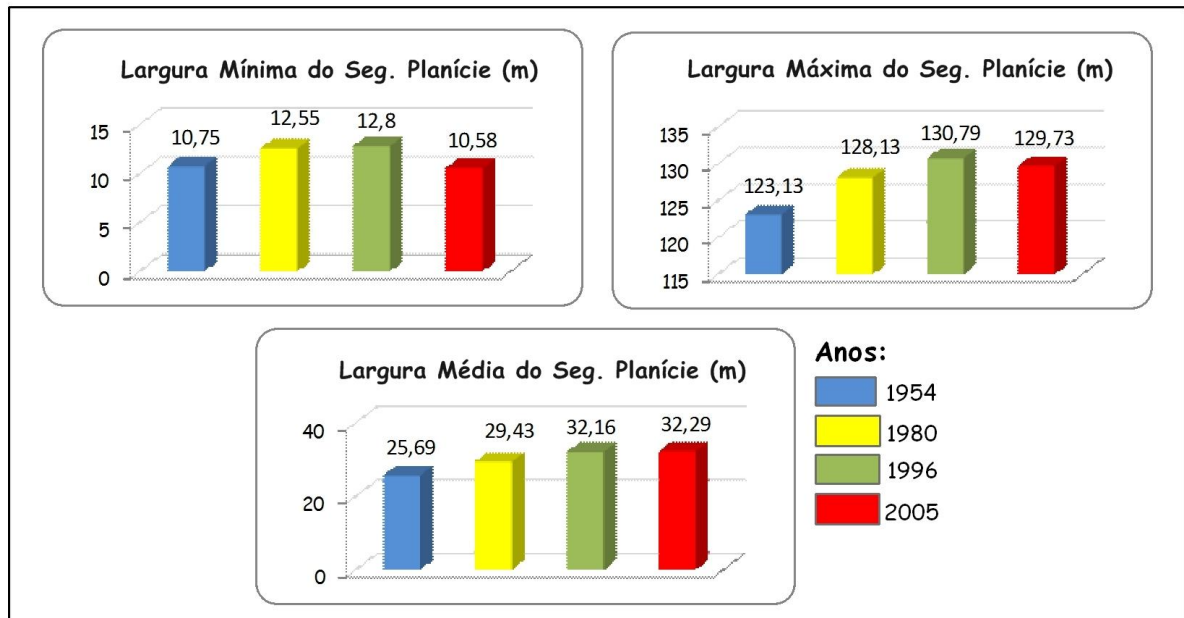


Figura 36 – Gráficos de valores de largura mínima, máxima e média do segmento planície

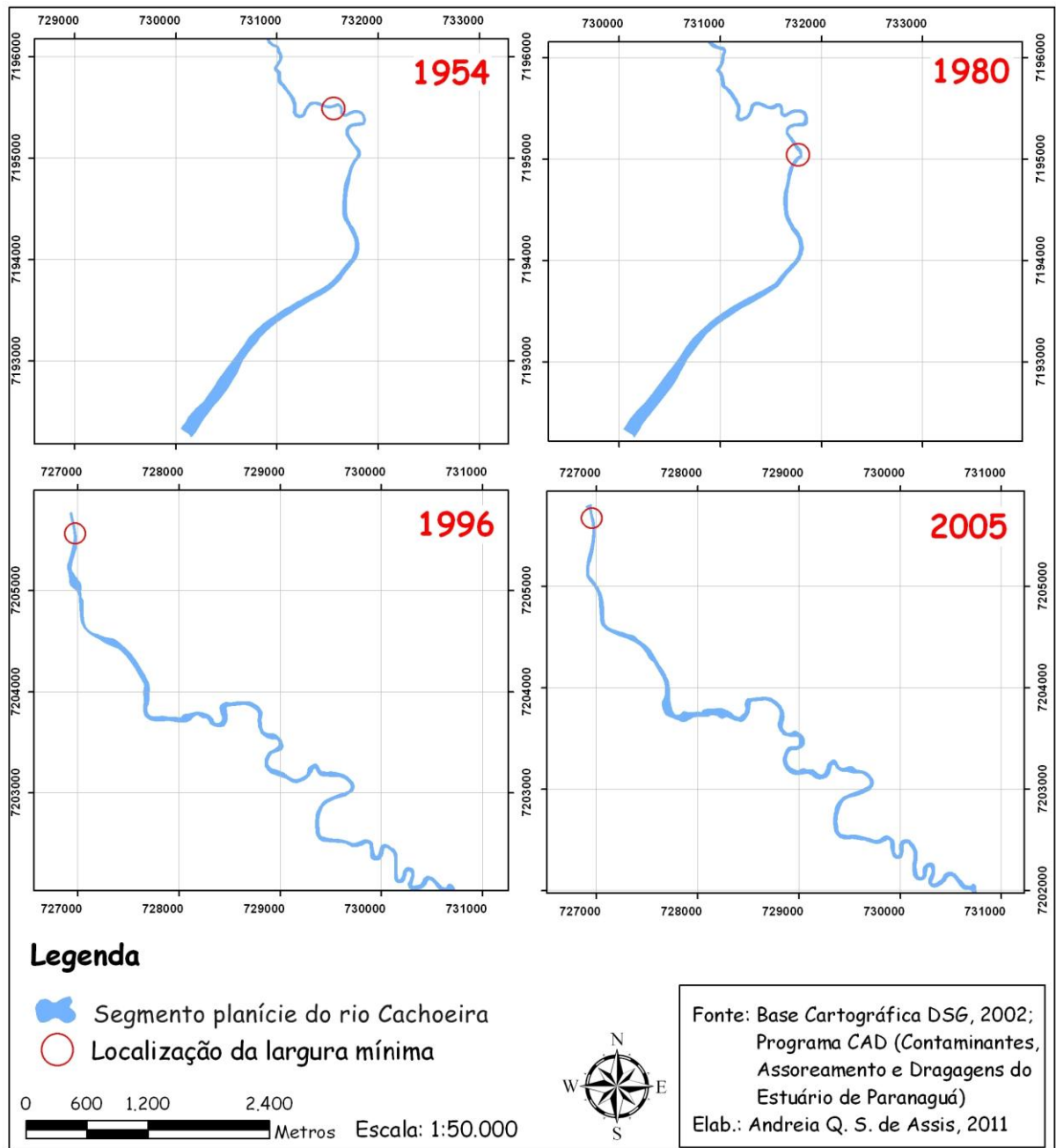


Figura 37 – Mapas comparativos de largura mínima do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.

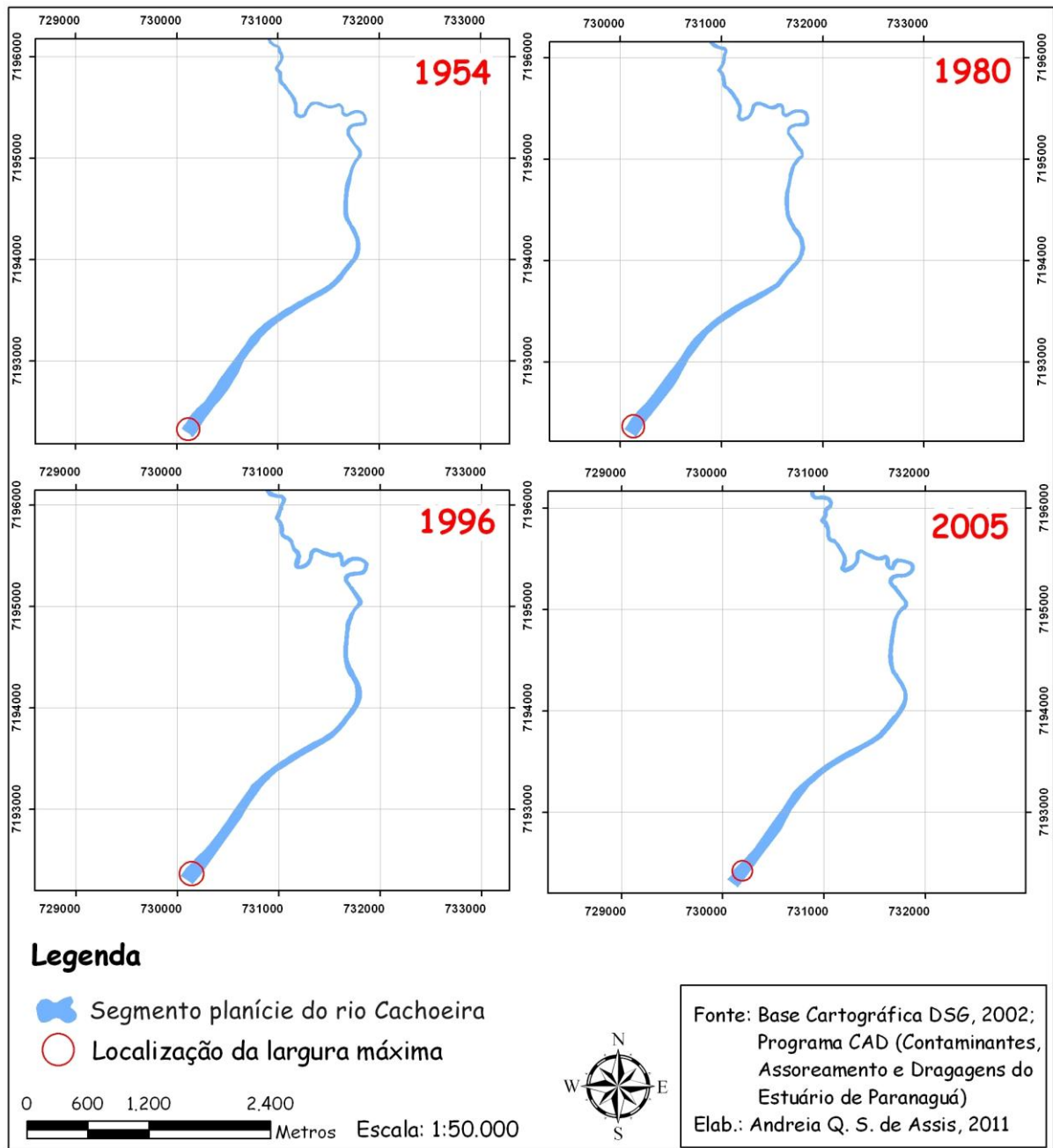


Figura 38 – Mapas comparativos de largura máxima do segmento planície, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.

4.2.2. Segmento Serra

O segmento serra está situado em área de serra da bacia hidrográfica do rio Cachoeira, em altitude de 30 a 1870 metros. Seu trecho possui declividade predominantemente entre 5 e 30 % e com pequenos trechos de declividade maior que 30 %. O principal tipo de solo é o cambissolo flúvico, ou seja, solo pouco desenvolvido e de escassa profundidade, com a presença de grandes áreas com afloramentos rochosos. O tipo de vegetação presente é a Floresta Ombrófila Densa Montana e Submontana, também conhecida como Floresta Atlântica, encontrando-se bastante preservada. A Floresta Atlântica ocorre associada a Serra do Mar Paranaense e a fatores climáticos tropicais de elevada temperatura e alta precipitação.

As variáveis morfométricas e morfológicas referentes ao segmento serra do rio Cachoeira foram quantificadas de acordo com os anos estudados (Tabela 10) e a seguir analisadas separadamente. Estas variáveis também podem ser observadas no mapa comparativo do segmento serra (Figura 39).

Tabela 10 –

Valores quantitativos morfométricos e morfológicos do segmento serra do rio Cachoeira

Variáveis do Canal		Segmento Serra				Varição
		1954	1980	1996	2005	1954- 2005
Índice de Sinuosidade		2,09	2,08	2,07	2,08	-0,5 %
Extensão do segmento (km)		22,59	22,52	22,47	22,5	-0,4 %
Área do corpo d'água (km ²)		0,28	0,27	0,23	0,25	-10,7%
Número de meandros abandonados		0	0	0	0	-
Área de meandros abandonados (km ²)		0	0	0	0	-
Número de barras de pontal		0	0	0	0	-
Área de barras de pontal (km ²)		0	0	0	0	-
Número de ilhas		7	7	7	8	+14,3 %
Área de ilhas (km ²)		0,05	0,06	0,06	0,06	+20 %
Largura do canal (metros)	Mín.	5,2	5,4	6	6,33	+21,7 %
	Máx.	34,56	46,11	41,44	44,49	+28,7 %
	Média	12,39	11,99	10,24	11,55	-6,8 %

Org. Andréia Q. Soares de Assis

MAPA COMPARATIVO (Figura 39)

- Índice de Sinuosidade e Extensão do Segmento

O índice de sinuosidade do segmento serra passou de 2,09 em 1954 para 2,08 em 1980 e 2,07 em 1996. Em 2005 o índice voltou ao valor de 2,08. Consequentemente, a extensão do segmento também reduziu no período de 1954 a 1980, de 22,59 km para 22,52 km, e de 1980 a 1996 passou de 22,52 km para 22,47 km. Já em 2005, assim como no índice de sinuosidade, a extensão do segmento voltou a aumentar, passando para 22,5 km (Figuras 40 e 41).

- Área do corpo d'água

A área ocupada pelo corpo d'água do segmento serra segue a mesma lógica da extensão, ou seja, diminuiu de 1954 a 1980 (0,28 km² para 0,27 km²) e de 1980 a 1996 (0,27 km² para 0,23 km²) e aumentou de 1996 a 2005 (0,23 km² para 0,25 km²) (Figuras 40 e 41).

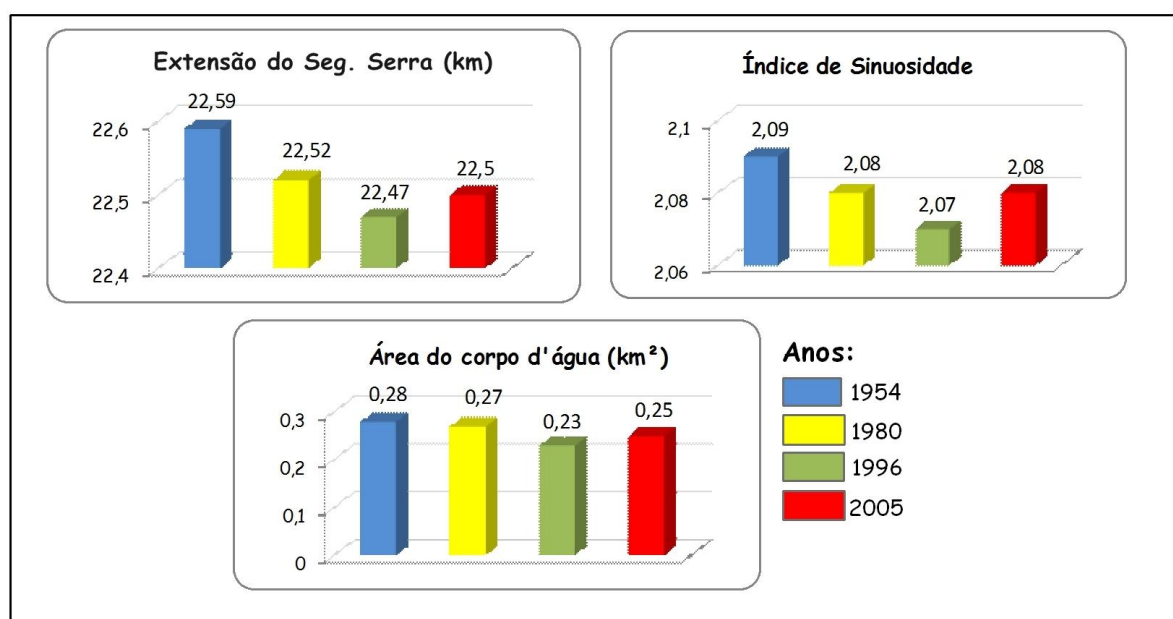


Figura 40 – Gráficos de valores de extensão, índice de sinuosidade e área do corpo d'água do segmento serra

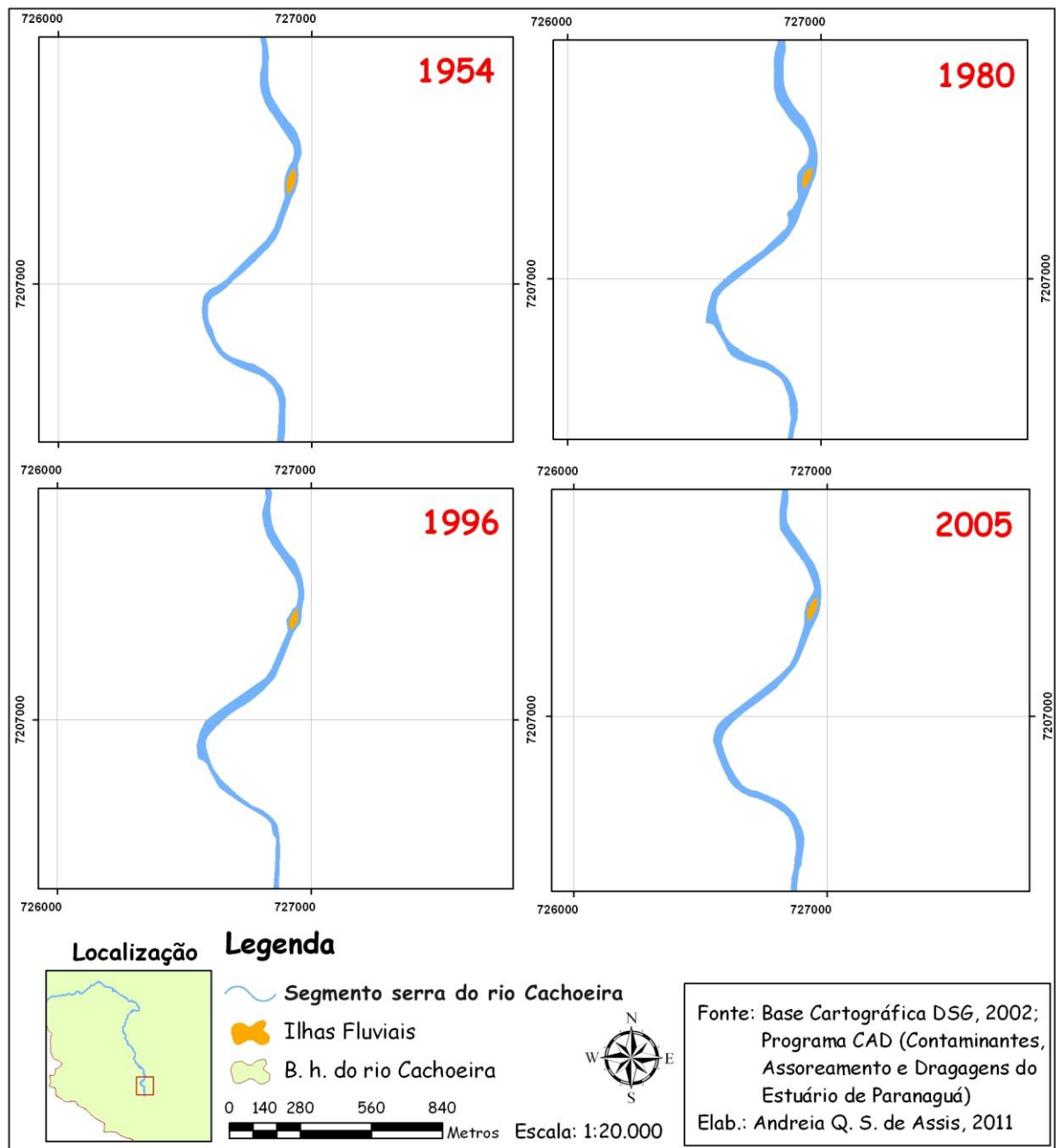


Figura 41 – Mapas comparativos de extensão, índice de sinuosidade e área do corpo d'água do segmento serra, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.

- Número e área de ilhas fluviais

O número de ilhas fluviais do segmento serra permaneceu a mesma nos anos de 1954, 1980 e 1996, com a presença de 7 ilhas, sendo que em 2005 teve o surgimento de 1 nova ilha. Porém, a área correspondente a essas ilhas teve uma pequena alteração nos períodos estudados, como observa-se nas Figuras 42 e 43. Na Figura 44 está representada a feição ilha fluvial no mosaico do ano de 2005.

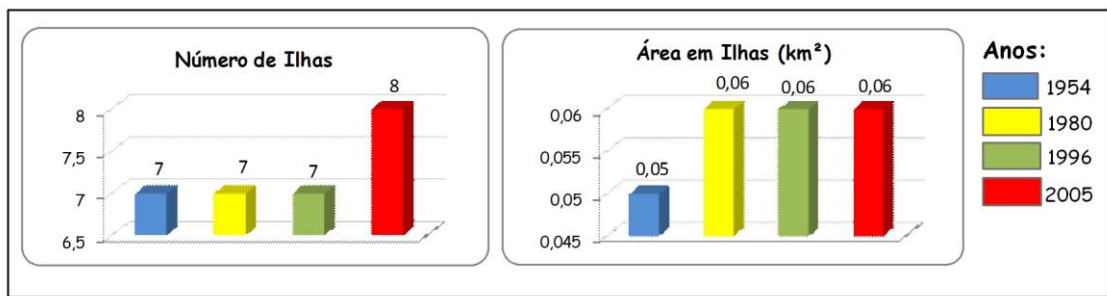


Figura 42 – Gráficos de valores de número e área em ilhas do segmento serra

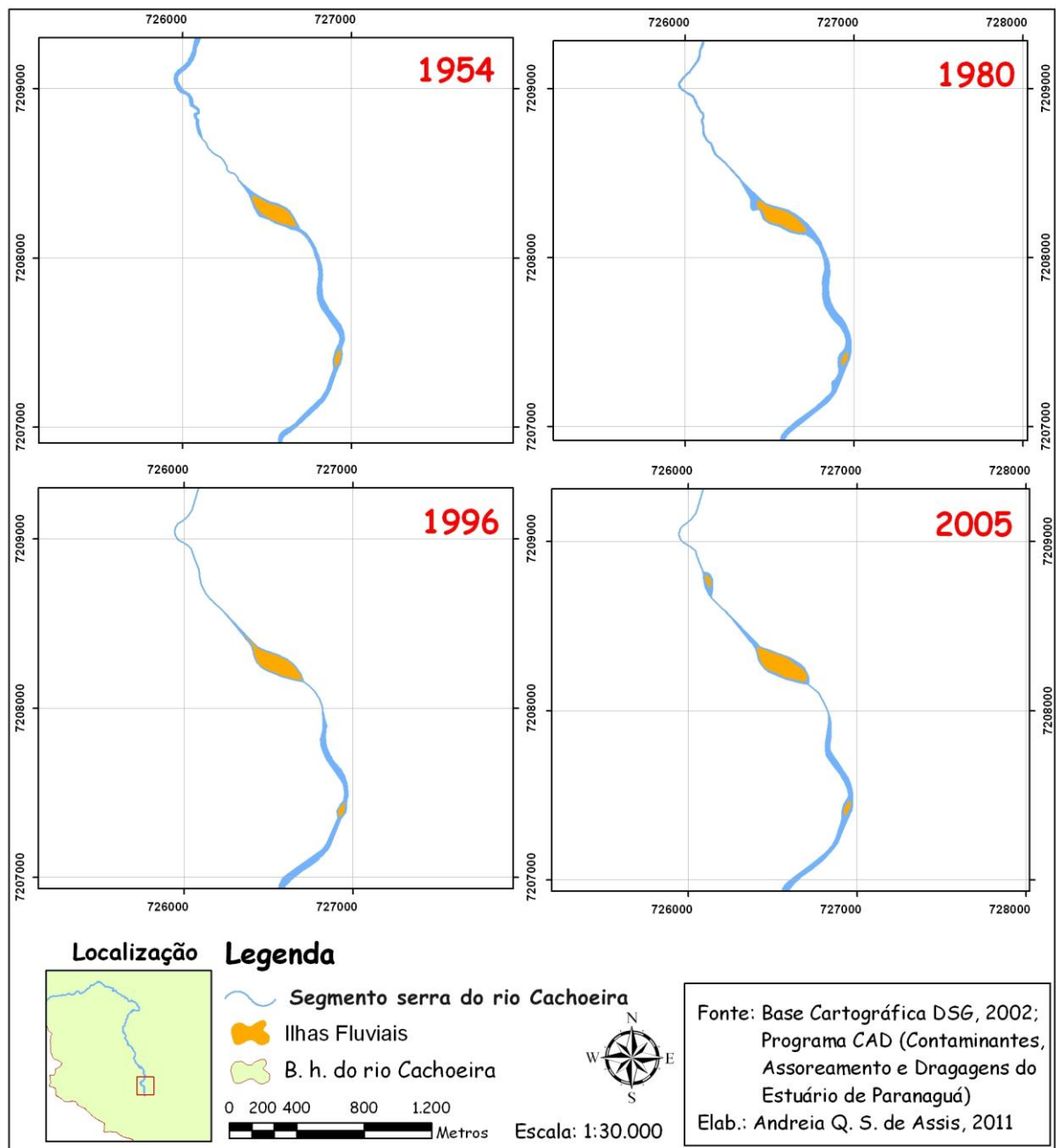


Figura 43 – Mapas comparativos de ilhas fluviais do segmento serra, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.

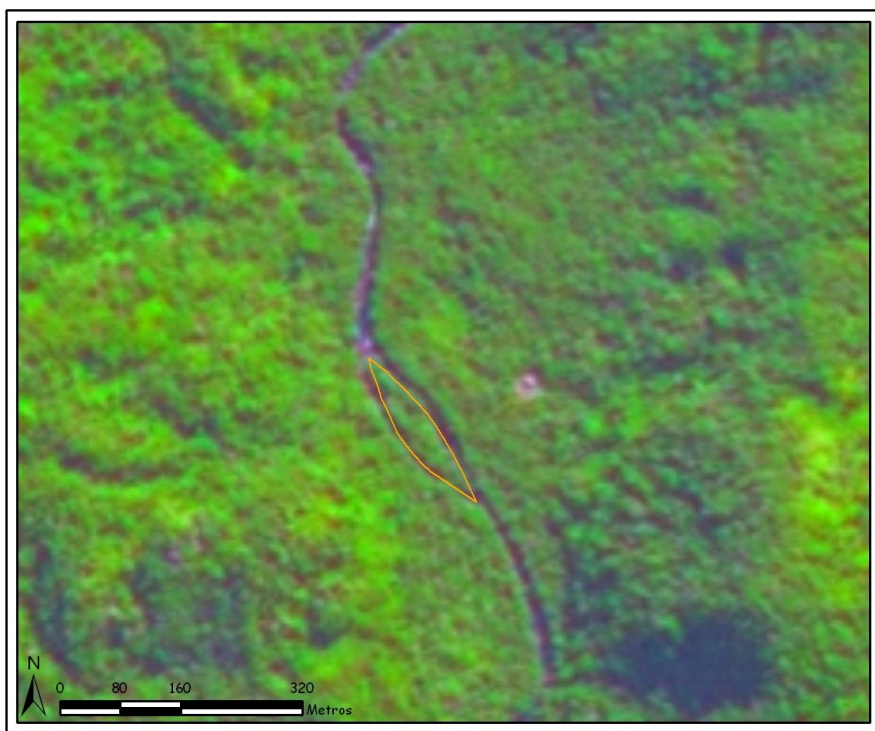


Figura 44 – Representação de ilha fluvial do ano de 2005 do segmento serra

- Largura Mínima, Máxima e Média do Segmento Serra

A largura média do segmento serra diminuiu nos períodos de 1954 a 1980 (de 12,39 metros para 11,99 metros) e de 1980 a 1996 (de 11,99 metros para 10,24 metros), e aumentou de 1996 a 2005, ou seja, passou de 10,24 metros para 11,55 metros (Figura 45).

A largura mínima do segmento serra passou de 5,2 metros para 6,33 metros no período de 1954 a 2005, ou seja, teve um aumento de 1,13 metros. Porém, foi no período de 1980 a 1996 que ocorreu maior aumento, quando passou 5,4 metros para 6 metros, o equivalente a um aumento 0,04 metros por ano (Figura 45).

O trecho do segmento serra de largura mínima é o mesmo em todos os anos estudados, localizado na região de nascente do rio Cachoeira (Figura 46).

A largura máxima do segmento serra teve um aumento mais expressivo que a largura mínima, passando de 34,56 metros em 1954 para 44,49 em 2005. Porém este aumento não ocorreu durante todo o período estudado. De 1954 a 1980 foi o período em que mais teve aumento na largura máxima, passando de 34,56 metros para 46,11 metros, o equivalente a 0,44 metros por ano de aumento na largura máxima. Já no período de 1980 a 1996 a largura máxima diminuiu de 46,11 metros para 41,44 metros, e voltou a subir no intervalo de 1996 a 2005, chegando a 44,49

metros (Figura 45). O trecho do segmento serra com a maior largura é diferente em todos os anos estudados, como observa-se na Figura 47. Vale ressaltar que a largura máxima do segmento serra foi considerada àquela cuja distância de uma margem a outra do segmento não tem a feição ilha fluvial no centro do rio.

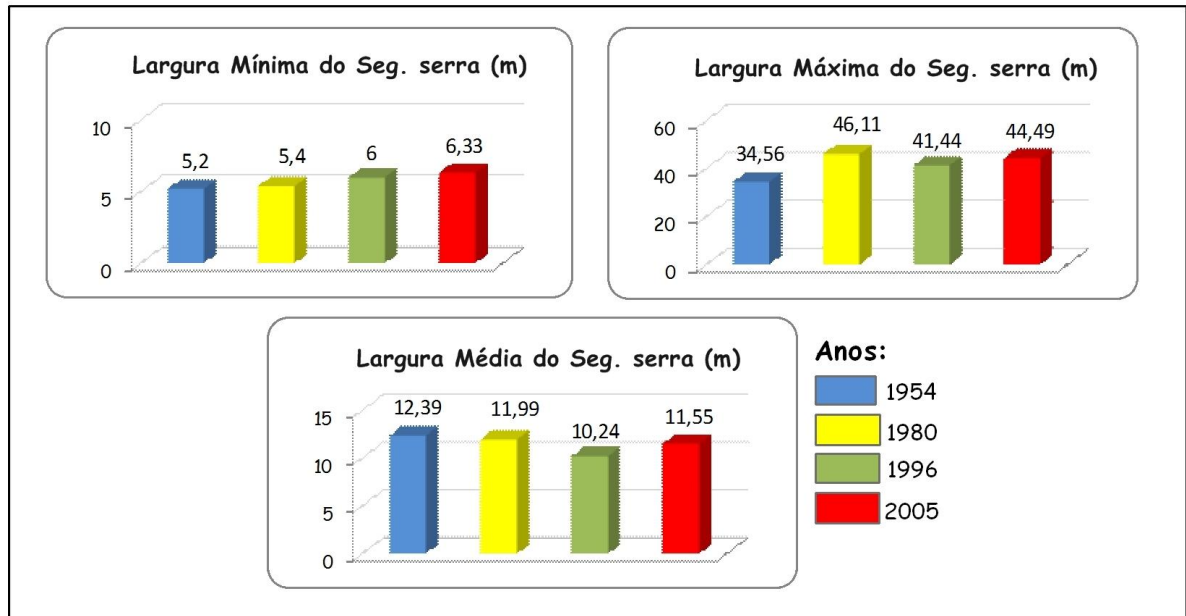


Figura 45 – Gráficos de valores de largura mínima, máxima e média do segmento serra

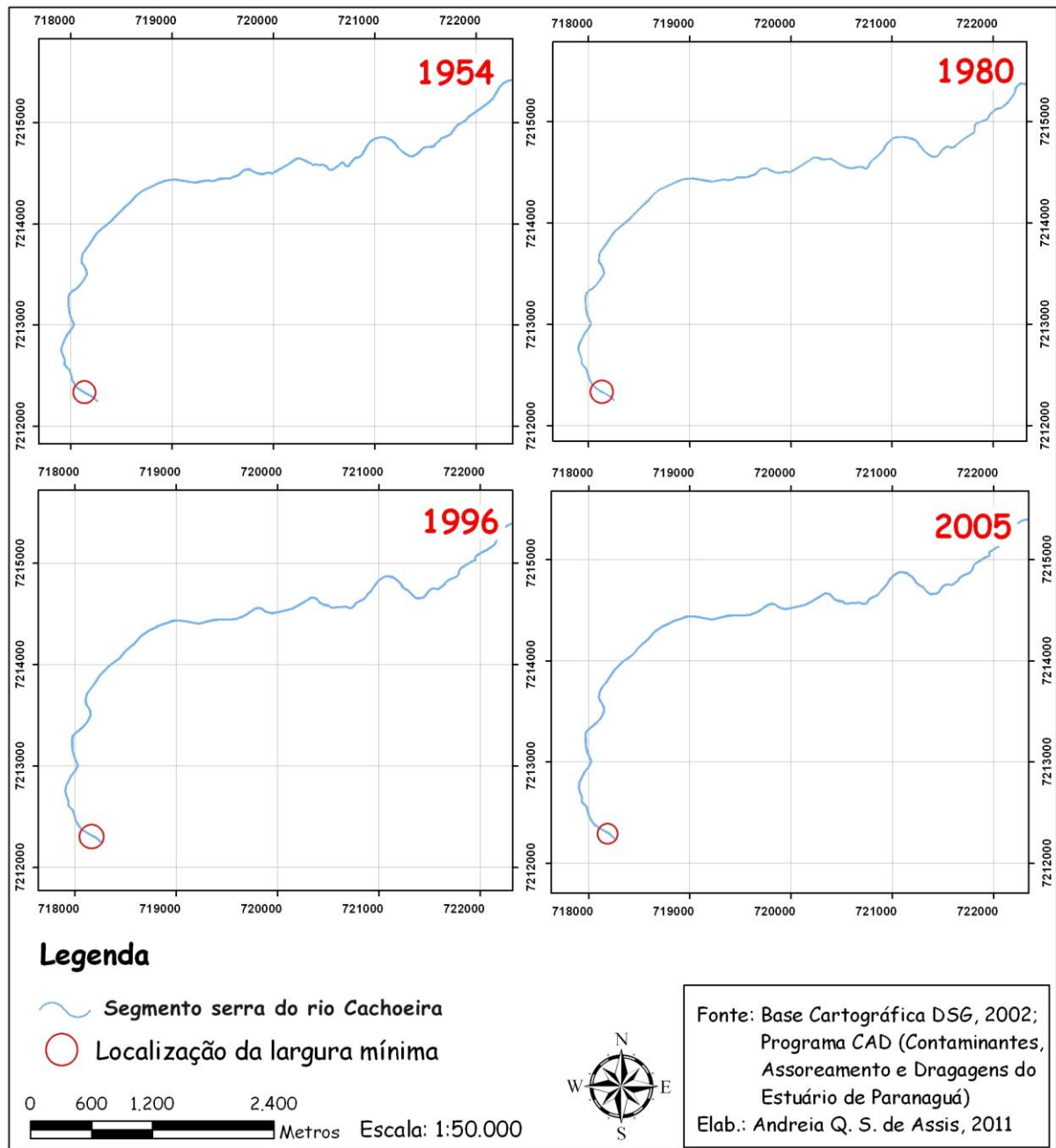


Figura 46 – Mapas comparativos de largura mínima do segmento serra, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.

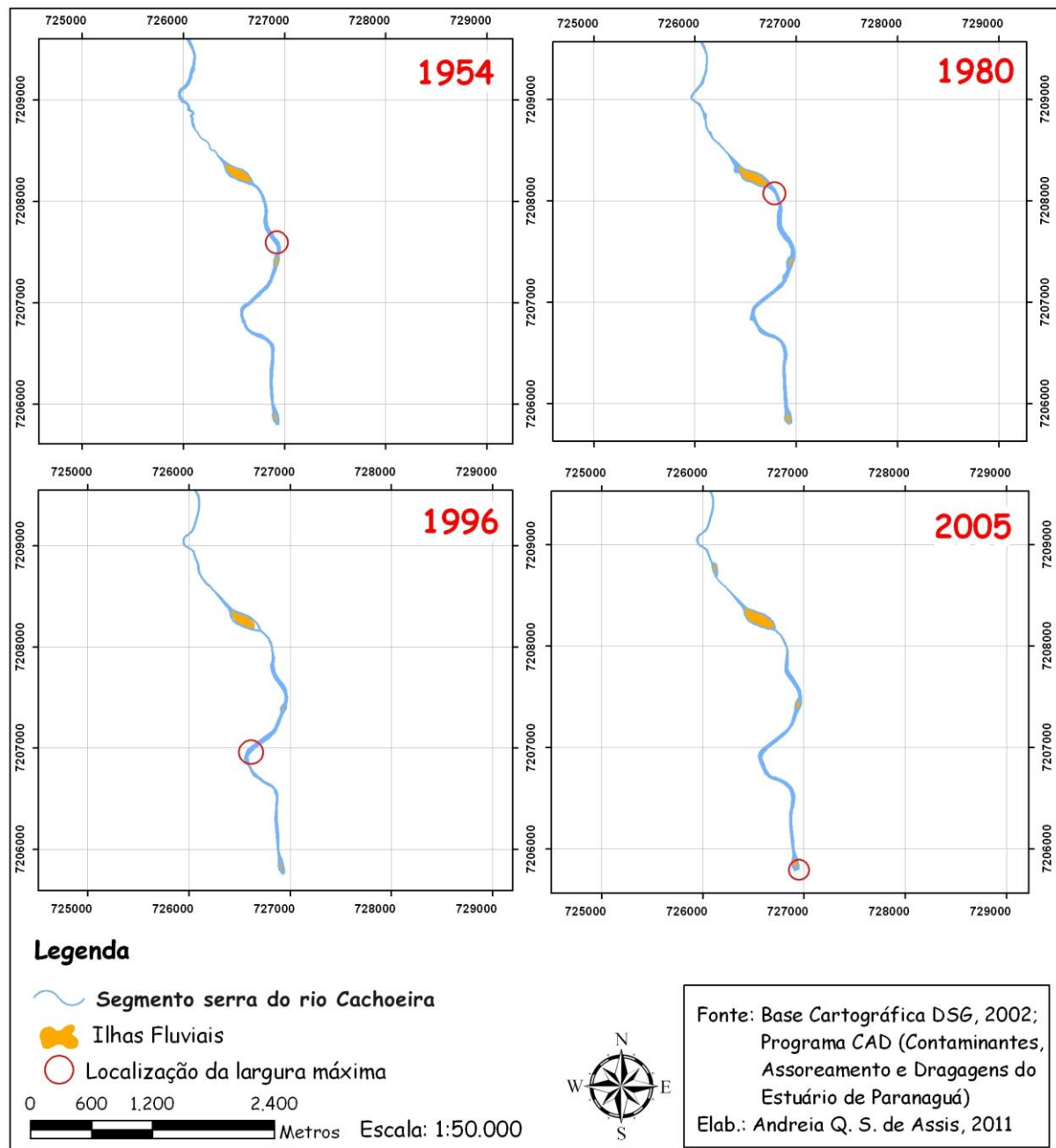


Figura 47 – Mapas comparativos de largura máxima do segmento serra, nos anos de 1954, 1980, 1996 e 2005.

4.2.3. Segmento Planície X Segmento Serra

As características do segmento planície diferem com as do segmento serra em algumas variáveis analisadas do ano de 1954 a 2005. Na Tabela 11 observa-se o aumento ou a redução ocorrida em cada variável estudada entre 1954 e 2005.

Tabela – 11

Variações (aumento ou redução) nos segmentos do rio Cachoeira entre 1954 e 2005

Variáveis do Canal		Segmento Planície	Segmento Serra
Índice de Sinuosidade		+ 6,9 %	-0,5 %
Extensão do segmento (km)		+6,8 %	-0,4 %
Área do corpo d'água (km ²)		+34,3 %	-10,7%
Número de meandros abandonados		+12,5 %	-
Área em meandros abandonados (km ²)		+22,2 %	-
Número de barras de pontal		+65,7 %	-
Área em barras de pontal (km ²)		+900 %	-
Número de ilhas		-	+14,3 %
Área em ilhas (km ²)		-	+20 %
Largura do segmento (m)	Mín.	-1,6 %	+21,7 %
	Máx.	+5,4 %	+28,7 %
	Média	+25,7 %	-6,8 %

Org. Andréia Q. Soares de Assis

O índice de sinuosidade do segmento planície teve um aumento de 6,9% de 1954 a 2005. Já o segmento serra diminuiu o índice de sinuosidade neste período, porém essa redução foi bem menos significativa que o aumento do segmento planície, sendo de apenas 0,5%.

A variável índice de sinuosidade representa a relação entre o comprimento verdadeiro do canal com a distância vetorial (em linha reta), considerando dois pontos extremos do rio principal. Valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo. Já os valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares. O índice de

sinuosidade obtido no segmento planície em 2005 foi de 2,02, o que indica que este trecho tende a ser sinuoso. Já o valor do segmento serra em 2005 foi de 2,08, demonstrando ser mais sinuoso que o segmento planície. Porém observa-se claramente no mapa do segmento serra que o seu trecho é menos sinuoso que o segmento planície. Isto ocorre devido o formato do rio Cachoeira em seu trecho mais a montante ser diferente, ou seja, sua nascente, em distância vetorial fica próxima ao início do segmento serra.

A extensão do segmento planície aumentou em 6,8% de 1954 a 2005, já a extensão do segmento serra diminuiu, mas apenas 0,4% neste mesmo intervalo de tempo. Isto se deve ao fato que o segmento planície estar localizado em área de planície aluvial, facilitando assim a ocorrência de meandros, e consequentemente aumentando a extensão do trecho. No segmento planície o período que ocorreu maior modificação no valor da extensão foi de 1980 a 1996, sendo que no segmento serra foi o período de 1996 a 2005.

A área do corpo d'água dos dois segmentos se comporta como a extensão, ou seja, aumentou no segmento planície e diminuiu no segmento serra.

A feição meandro abandonado só está presente no segmento planície. Isto ocorre porquê este segmento está localizado em área de planície aluvial, área propícia a formação deste tipo de feição. Já o segmento serra está localizado em um trecho de serra, com alta declividade, impedindo assim a formação de meandros abandonados. O período de 1954 a 1980 foi o que teve maior alteração no número de meandros abandonados e em sua área.

A feição barra de pontal também só ocorreu no segmento planície pelo mesmo motivo da feição meandro abandonado, ou seja, é uma feição própria de trechos de planície, e não de serra. A maior alteração se deu no período de 1996 a 2005, tanto no número de barras de pontal, como de área das mesmas.

A feição ilha fluvial está presente nos dois segmentos do rio Cachoeira. No segmento planície ocorreu maior variação da presença de ilhas durante o período de 1954 a 2005, ora aumentando de número e área, ora diminuindo. Já no segmento serra o número de ilhas permaneceu o mesmo em grande parte do tempo, somente vindo a aumentar em uma unidade no período de 1996 a 2005. Isto se deve ao fato de que o segmento planície está localizado na planície aluvial do rio Cachoeira, onde os processos de transporte e deposição de sedimentos são muito maiores que no segmento serra, facilitando assim uma maior variação da ocorrência da feição. O

período de 1996 a 2005 foi o que teve maior alteração no número e na área das ilhas fluvias, tanto no segmento planície como no segmento serra.

A largura mínima do segmento planície diminuiu no período de 1954 a 2005 e aumentou no segmento serra. Porém, foi no intervalo de 1996 a 2005 que ocorreu maior alteração no valor da largura mínima, em ambos os segmentos.

A largura máxima dos segmentos planície e serra aumentou de 1954 a 2005. Porém, foi no intervalo de 1954 a 1980 que ocorreu maior modificação no valor da largura máxima, tanto no segmento planície como no segmento serra.

A largura média aumentou no segmento planície no período de 1954 a 2005, e diminuiu no segmento serra. De 1980 a 1996 foi o período que teve maior alteração no valor da largura média do segmento planície, e de 1996 a 2005 no segmento serra.

Após analisar cada uma das variáveis e as modificações ocorridas nas mesmas, observou-se que o período temporal que ocorreu grande parte das modificações no segmento planície foi o de 1980 a 1996 para as variáveis morfométricas e de 1996 a 2005 para as variáveis morfológicas. No segmento serra o período de 1996 a 2005 é o que teve maior alteração, tanto nas variáveis morfométricas como nas variáveis morfológicas. Vale ressaltar que o segmento planície teve alterações bem mais significativas que o segmento serra, como se pôde observar no capítulo anterior.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As mudanças que ocorrem nos canais fluviais têm sua origem no desenvolvimento de dois tipos de processos que são a erosão e a sedimentação. Deve-se, contudo inserir neste contexto uma variável de grande importância para que se possa avaliar a intensidade da ação destes dois processos, o tempo.

Erosão e sedimentação são processos naturais que transformam a superfície terrestre na perspectiva do tempo geológico. Mas para as alterações morfológicas ocorridas em um canal fluvial dentro de curtos intervalos de tempo, deve-se considerar também outro elemento de transformação, o efeito antrópico.

Deve-se destacar que o uso de métodos convencionais de análise aliado aos recursos de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento permitiu o estudo avançar satisfatoriamente nos resultados com ampla aplicabilidade prática, que serviram como base para interpretar a dinâmica do canal.

Analisar a dinâmica fluvial do rio Cachoeira a partir de dados morfométricos e morfológicos entre os anos de 1954 e 2005 foi o principal objetivo a ser alcançado nesta pesquisa.

O período temporal desta pesquisa pode ser dividido em três fases: a primeira vai de 1954 a 1980, a segunda entre 1980 e 1996, e a terceira vai de 1996 a 2005. As alterações morfométricas identificadas nessas três fases são acompanhadas pela dinâmica na variação numérica e areal das feições fluviais estudadas (meandros abandonados, barras de pontal e ilhas fluviais).

A análise morfométrica e morfológica realizada para os dois segmentos do rio Cachoeira foram o ponto inicial de constatação dos tipos de alterações que estavam ocorrendo no canal principal. A quantificação apontou números totais de quantos destes elementos morfológicos foram erodidos, quantos surgiram, qual o saldo quantitativo dentro do período analisado e como se caracteriza a distribuição espacial dos mesmos.

Outros indicativos de alteração identificados pela análise morfométrica foram as medidas obtidas de sinuosidade, extensão do canal, área do canal, larguras média, mínima e máxima, que forneceram valores distintos nos dois segmentos para cada período analisado.

Com relação a cada intervalo dos períodos analisados, constatou-se que o intervalo que vai de 1996 a 2005 foi o que mais sofreu alterações, considerando os

dois segmentos do rio Cachoeira, lembrando que o segmento planície teve mais alterações que o segmento serra.

O fato do segmento planície sofrer maiores alterações ao longo do tempo pode ser explicado por alguns fatores, entre eles as características geomorfológicas, a dinâmica da cobertura e do uso da terra e a presença da Usina Hidrelétrica Governador Parigot de Souza.

A divisão geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Cachoeira ajudou a entender algumas das alterações presentes nos segmentos do rio Cachoeira. O segmento planície está totalmente inserido na planície aluvial, e tem seu canal com uma morfologia do tipo meandrante, promovendo um trabalho contínuo de escavação da margem côncava e de deposição na margem convexa, causando assim o deslocamento das curvas meândricas. Isto explica a grande ocorrência de meandros abandonados e barras de pontal. Esta também é uma área onde os processos de transporte e sedimentação são intensos, o que facilita a formação de pequenas ilhas fluvias e sua breve extinção. Já o segmento serra está localizado totalmente em área de serra, com altas declividades e com forte atuação do processo de erosão.

Como vimos no Capítulo 4, o tipo de cobertura e uso da terra encontrados ao longo do rio Cachoeira se modifica segundo a declividade. Os segmentos estudados acompanham essa lógica. O segmento planície, por ter baixa declividade, tem grande parte do seu trecho ocupado por agricultura em seu entorno, o que pode causar alterações na morfologia do rio, principalmente quando as plantações estão localizadas em áreas de preservação permanente. O segmento serra, localizado em um trecho de alta declividade, dificulta a presença de agricultura, facilita a preservação da floresta nativa (Floresta Atlântica), e conseqüentemente diminui as alterações ao longo do canal.

Outro fator que deve ser considerado é a presença do canal fuga da Usina Hidroelétrica Parigot de Souza no segmento planície. Ele está localizado no trecho a montante do segmento, fazendo com que grande parte do mesmo esteja sob influência do canal fuga. As águas provenientes deste canal são escoadas para o rio Cachoeira, aumentando assim sua vazão e por conseqüência sua capacidade de transporte de sedimentos. Vale lembrar que o período que ocorreu menos alterações em ambos os segmentos estudados foi entre 1954 e 1980, e que a usina Parigot de Souza só entrou em operação em 1971.

O segmento planície pertence ao trecho do rio Cachoeira que deságua na baía de Antonina. Se este segmento foi o que mais sofreu alterações em sua morfologia, conclui-se que o processo de assoreamento da baía está estritamente ligado aos aspectos citados acima.

Em síntese pode-se dizer que atualmente o rio Cachoeira passa por um processo de alteração morfológica que pode ser interpretado como uma mudança do comportamento do canal para um padrão ainda mais meandrante.

Devido a dificuldade de aquisição de imagem de satélite de alta resolução espacial e mais atual da área de estudo, o ultimo período estudado foi 2005. Seria interessante a aquisição da mesma, para que possa atualizar os dados estudados, e assim verificar se as alterações na dinâmica do rio Cachoeira seguem o mesmo padrão dos períodos anteriores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, D. **Fotogrametria básica**. Rio de Janeiro: IME. Curitiba: SBEE, 1998.

BIGARELLA, J. J. *et al.* **A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná**. Curitiba: ADEA/Sec. Est. Planejamento/PR, 1978.

BIGARELLA, J. J. *et al.* **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais. Vol. III**. 2ª Ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007.

BIGARELLA, J. J. *et al.* **A Serra do Mar e Planície Costeira do Paraná: Um problema de segurança ambiental e nacional**. Florianópolis: UFSC/CFH/GCN, 2008.

BOLDRINI, E. B.; PAULA, E. V. Programa CAD (Contaminantes, Assoreamento e Dragagem no estuário de Paranaguá/PR) e a recuperação de bacias hidrográficas para mitigar o processo de assoreamento. *In*: BOLDRINI, E. B.; SOARES, C. R.; PAULA, E. V. (Orgs.). **Dragagens Portuárias no Brasil: Engenharia, Tecnologias e Meio Ambiente**. Antonina: ADEMADAN; UNIBEM; Secretaria de Ciência e Tecnologia para Inclusão Social (MCT). 2008. 296p.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. *In*: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (orgs.) **Erosão e Conservação dos solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 269-300.

BRANCO, J. C. Alterações Morfológicas na foz do Rio Cachoeira, estado do Paraná, com base na análise da evolução das unidades de planície de maré. Dissertação de Mestrado (Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geologia), 70 f. Curitiba, 2004.

BROOKES, A. River channel change. In: PETTS, G.; CALOW, P. (Ed). **River flows and channel forms**. Blackwell Science, 1996. p. 221-240.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2ª Ed., rev., atual. e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise Morfométrica das Bacias Hidrográficas**. Notícia Geomorfológica, Campinas, 9(18). 1969. p. 35-64.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Impactos no meio ambiente ocasionados pela urbanização no mundo tropical**. In: Natureza e Sociedade de Hoje: Uma leitura geográfica. 2ª ed. São Paulo: Hucitec-Anpur, 1994.

CHURCH, M. Channel Morphology and Typology. In: CALOW, P.; PETTS, G. E. (Ed). **The Rivers Handbook: Hydrological and Ecological Principles**. Volume 1. Oxford, 1992.

CHURCH, M. Channel morphology and tipology. In: PETTS, G.; CALOW, P. (Ed.). **River flows and channel forms**. Blackwell Science, 1996. p. 185-202.

COELHO, A. L. N. **Alterações hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES**. Tese de Doutorado (Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Departamento de Geografia), 227 f. Niterói, 2007.

CUNHA, S. B. Canais Fluviais e a Questão Ambiental. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (orgs.) **A Questão Ambiental. Diferentes Abordagens**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 219-238.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. *In*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.) **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. 7ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 211-252.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FLORENZANO, T. **Geomorfologia. Conceitos e Tecnologias Atuais**. Editora Oficina de Textos. São Paulo. 2008.

FONTES, A. L. **Caracterização Geoambiental da Bacia do Rio Japarutuba – SE**. Tese de Doutorado. Rio Claro. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. 1997. 283p.

GRAF, W. L. **A Lei da Razão em Geomorfologia Fluvial**. Notícia Geomorfológica. vol.18, Campinas: ICH-DEGEOG, 1978, p.57-78.

ITCG (Instituto de Terras, Cartografia e Geociências). **Carta Climática do Estado do Paraná**. 2008. Disponível em: < www.itcg.pr.br > Acesso em 10 de junho de 2010.

IPARDES (Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social). **Zoneamento do Litoral Paranaense**. Curitiba, 1989, 175p.

IRIONDO, M. H. **Introducción a La Geología**. Paraná : Ediciones El Río, 1985. p. 120-149.

KNIGHTON, D. **Fluvial Forms and Processes. A new perspective**. London, Sydney, Auckland: Arnold, 1998. p. 261-335.

KELLERHALS, R.; CHURCH, M.; BRAY, D. I. **Classification and analysis of river processes**. Journal of the Hydraulics Division of American Society of Civil Engineers, vol. 102, 1976, p. 813- 829.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. **Rivers meanders**. The Geological Society of America Bulletin, v. 71, n. 6, p. 769-794, 1960.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. River channel patterns. *In*: DURY, G. H. (ed.) **Rivers and river terraces**. London: Macmillan, 1970. p. 197-236.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: Banco BADEP, UFPR, IBPT, 1960. 350p.

MANTOVANELLI, A. **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem**. Dissertação de Mestrado. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999. 152 p.

MARISAWA, M. **Streams their dynamics and morphology**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1968.

MIALL, A. D. The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. 4^a. ed. New York: Springer, 2006. 582 p.

MINEROPAR – Minerais do Paraná S/A. **Folha Geológica de Curitiba** (1:250.000). Paraná, 2005.

MONTEIRO, C. A. F. Clima *In*: **A Grande Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, Tomo 1, v.4, 1968. p.14-166.

MORAIS, R. P. **Mudanças históricas na morfologia do canal do rio Araguaia no trecho entre a cidade de Barra do Garças (Mt) e a foz do rio Cristalino na Ilha do Bananal no período das décadas de 60 e 90**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2002. 176 p

PARK, C. C. Man-induced changes in stream channel capacity. *In: River Channel Changes*. John Wiley & Sons, 1977, p. 121-144.

PAULA, E. V.; CUNICO, C. O assoreamento das baías de Antonina e Paranaguá e a gestão de suas bacias hidrográficas. *In: BOLDRINI, E. B.; SORAES, C. R.; PAULA, E. V. (Orgs.). Dragagens Portuárias no Brasil: Licenciamento e Monitoramento Ambiental*. Antonina: Governo do Estado do Paraná; SEMA/PR; ADEMADAN; UNIBEM. 2007.

PAULA, E. V. **Análise da Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina/PR: Uma abordagem Geopedológica**. Tese de Doutorado (Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geografia), 158 f. Curitiba, 2010.

PETTS, G. E. & FOSTER, D. L. **Rivers and Landscape**. ED. Edward Arnold, 1985. 274p.

PROGRAMA PROTEÇÃO DA FLORESTA ATLÂNTICA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná. **Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná**. Curitiba, 2001.

PROGRAMA PROTEÇÃO DA FLORESTA ATLÂNTICA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná. **Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná. Cartilha de Apoio à Interpretação das Cartas de Vegetação**. Curitiba, 2002.

RIBEIRO, R. P. **Avaliação das Alterações na Rede de Drenagem de Sub-bacias Hidrográficas da Porção Média da Bacia do Rio Capivari (SP): Escala 1:25.000 – Subsídio para o Planejamento Integrado**. Dissertação de Mestrado (Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia), 206 f. São Carlos, 2002.

RICCOMINI, C.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Rios e Processos Aluviais. *In*: Teixeira, W., Toledo, M. C. M.; Fairchild, T. R.; Taioli, F. (Orgs). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Texto. 2000. p. 191 – 214.

SALGADO, A. A. R.; BIAZINI, J.; HENNIG, S. **Nota Técnica. Geomorfologia Brasileira: Panorama Geral da Produção Nacional no Início do Século XXI (2001-2005)**. Uberlândia: Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 9, n.1, 2008, p.85-91.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. **Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná**. Uberlândia: Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 7, n.2, 2006, p.3-12.

SANTOS, L. J. C.; PAULA, E. V.; GROCHOCKI, M. A. F. **Mapeamento Geomorfológico como Subsídio à Identificação e à Estimativa dos Solos na Área de Drenagem da Baía de Antonina (PR)**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 10, p. 29-36, 2009.

SCHUMM, S. A. **The fluvial system**. New York: John Willey & Sons, 1977. 337 p.

SCHUMM, S. A.; KHAN, H. R. **Experimental study of channel patterns**. The Geological Society of America Bulletin, v. 83, n. 6, p. 1755-1770, 1972.

SILVA, J. M. F. **Caracterização e Mapeamento das Unidades Geomorfológicas da Bacia do Rio Pequeno, Antonina – PR**. Dissertação de Mestrado (Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geografia). Curitiba, 2010. 94 p.

STRAHLER, A.N. **Hypsometric (área-altitude) analysis of erosional topography**. Geol. Soc. Amer. Bolletin, vol. 63, pág. 1117-1142, 1952.

SUGUIO K. & BIGARELLA, J. J., **Ambiente fluvial**. 2ª ed. Curitiba: UFPR, 1979. 183 p.

ZANCOPÉ, M. H. C. **Estudo dos padrões de canal fluvial do Rio Mogi Guaçu – SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociência e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 2004. 101 f

ZANCOPÉ, M. H. C. **Análise Morfodinâmica do Rio Mogi Guaçu**. Tese de Doutorado (Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências), 111 f. Campinas, 2008.

WOLMAN, M. G., & LEOPOLD, L. B. **River Flood Plains: Some Observations on their Formation**. U.S. Geological Survey Professional Paper 282-C, 1957. 30p.